

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ О.В.Шевченко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

## Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра  
зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему: Розширення технологічних можливостей  
свердильного верстата

Виконав (-ла): студент (-ка) \_\_\_\_\_ ІІ курсу , групи МВ – 81мп

Пігур М. Р.

\_\_\_\_\_ (прізвище ім'я по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник Доцент, Ковальов В. А.

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант з розділу \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент:

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2019

**Національний технічний університет України**  
**“Київський політехнічний інститут**  
**імені Ігоря Сікорського”**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання верстатів та машин**

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною  
програмою

Спеціальність 131 Прикладна механіка  
Спеціалізація «Технології комп'ютерного проектування верстатів, роботів  
і машин»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

О.В.Шевченко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Пігуру Мирославу Романовичу\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації \_Розширення технологічних можливостей свердлильного верстату\_

науковий керівник дисертації \_\_доц. Ковальов Віктор Андрійович\_\_

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від **“31” жовтня 2019 року № 3800-с**

2. Термін подання студентом дисертації \_\_17.11.2019р

3. Об'єкт дослідження \_\_Свердлильний верстат

4. Вихідні дані \_Технічна документація на свердлильний верстат

5. Перелік завдань, які потрібно розробити \_Виконати аналіз верстатів свердлильної групи та описати базовий верстат. Виконати необхідні розрахунки для підвищення технологічних можливостей верстата. Проаналізувати та вибрати сучасні високопродуктивні інструменти. Розробити конструкцію пристосування для типової корпусної деталі. Використати програмне забезпечення фірми Heidenhain для розробки програми обробки деталі на верстаті та датчики для підвищення точності осьових переміщень виконавчих органів.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Загальний вигляд верстата. Кінематична схема. Привод подачі повзуна. Шпиндельний вузол. Коробка швидкостей. Пристосування. 3D модель шпиндельного вузла. Плакат, присвячений вибору датчиків та інструментів. Плакат по розробці програми обробки деталі.

7. Орієнтовний перелік публікацій \_ Пігур М.Р., Роман О.М. - студенти, Ковальов В.А., к.т.н. доцент «КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЩУПІВ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК» // Інновації молоді в машинобудуванні. За заг. ред. Данильченка Ю.М. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. – № 1.– Режим доступу: <http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/167729>; Пігур М.Р., студент, наук. кер. Ковальов В.А., к.т.н., доц., «ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ У ВЕРСТАТАХ З ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ» / Тези доповідей всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ - МАШИНОБУДУВАННЮ» секція "Конструювання верстатів та машин" / Укладач Кравець О.М. – К: НТУУ "КПІ", 2018. – 80 с.

8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання \_\_20.09.2018р

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Виконати аналіз верстатів свердлильної групи та описати базовий верстат	грудень 2018	
2	Виконати необхідні розрахунки для підвищення технологічних можливостей верстата.	лютий 2019	
3	Проаналізувати та вибрати сучасні високопродуктивні інструменти	квітень 2019	
4	Використати програмне забезпечення фірми Heidenhain для розробки програми обробки деталі на верстаті	червень 2019	
5	Вибрати високоточні лінійні датчики	вересень 2019	
6	Виконати креслення відповідно до завдання	жовтень 2019	
7	Розробити і скомпонувати плакати	листопад 2019	
8	Оформити розрахунково-пояснювальну записку	грудень 2019	

Студент \_\_\_\_\_ Пігур М.Р. \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_ Ковальов В.А. \_\_\_\_\_

## Анотація

Дана магістерська дисертація присвячена розширенню технологічних можливостей свердлильного верстату.

Розширення технологічних можливостей відбувається шляхом: використання радіальних роликових підшипників у шпинделі, заміна прямозубих зубчастих коліс на маломодульні в коробці швидкостей, а також використання високопродуктивних інструментів .

Робота налічує 92 сторінок, 47 рисунків, 2 таблицю, 14 джерел літератури в записці, 7 креслень формату А1, 3 плакати формату А1.



## Annotation

This master's thesis is devoted to the expansion of technological capabilities of the drilling machine.

The technological capabilities are enhanced by: the use of radial roller bearings in the spindle, the replacement of the toothed gears with the low-modulus gearboxes, and the use of high-performance tools.

The work consists of 92 pages, 47 figures, 2 tables, 14 sources of literature in the note, 7 drawings of A1 format, 3 posters of A1 format.

## Зміст

Вступ – 5 ст.

1. Аналіз вертикально-свердильних верстатів та їх основних вузлів – 6 ст.
2. Опис базового верстата та його вузлів – 25 ст.
3. Поворотний стіл HRT SP – 32 ст.
4. Інструментальне забезпечення свердильного верстату – 39 ст.
5. Конструктивні особливості вимірювальних щупів та датчиків лінійного переміщення HEIDENHAIN для верстатів ЧПК – 45 ст.
6. Кінематичний розрахунок верстата – 57 ст.
7. Розрахунок режимів різання та навантажень при свердлінні – 60 ст.
8. Розрахунок та удосконалення зубчастих передач головного приводу – 64 ст.
9. Розрахунок навантажень в зубчастих передачах верстата – 65 ст.
10. Розрахунок модуля зубчастих передач – 67 ст.
11. Удосконалення зубчастих передач – 69 ст.
12. Розрахунок шпиндельного вузла – 75 ст.
13. Конструювання та розрахунок пристосування для обробки типової деталі – 87 ст.
14. Висновки – 91 ст.
15. Література – 92 ст.

## ВСТУП

В сучасній світовій економіці виробники продукції повинні виготовляти якісні деталі вчасно і за доступною ціною. Здатність виробника збільшувати продуктивність і покращувати якість без значного підвищення затрат дозволяє йому витримувати конкуренцію і забезпечувати стабільний прибуток.

В той же час вимоги до металообробного обладнання постійно зростають, в першу чергу по продуктивності та точності оброблювання, що призводить і до значного підвищення його вартості.

На сьогоднішній день в нашій країні є актуальною задача модернізації наявного металорізального обладнання з метою підвищення продуктивності та забезпечення якості виробів що здатні витримувати конкуренцію на сучасному ринку.

Метою даної магістерської дисертації є розширення технологічних можливостей свердлильного верстата з ЧПК за рахунок покращення конструкції шпиндельного вузла, модернізації окремих вузлів верстата та використання сучасного програмного забезпечення використання сучасного програмного забезпечення та оснащення верстата.

Для досягнення поставленої мети модернізовано конструкцію шпиндельного вузла з використанням програми SOLIDWORKS.

В якості прогресивного програмного забезпечення використовується програмне забезпечення фірми HEIDENHAIN, що є одним із лідерів на світовому ринку. Одним із факторів забезпечення точних міжосьових відстаней оброблюваних отворів є точність переміщення і позиціювання виконавчих органів верстата. Використання лінійних високоточних датчиків тієї ж фірми HEIDENHAIN дозволяє успішно вирішувати і цю задачу.

Для вирішення поставленої задачі актуальним є використання прогресивних високоточних інструментів та швидкодіючих пристосувань.

В даній магістерській дисертації виконано аналіз та вибір сучасних конструкцій сверدل з використанням високопродуктивних інструментальних матеріалів і зносостійких покриттів.

Так наприклад, фірма SECO комплексно вирішує задачі по інструментальному забезпеченню свердління отворів, розвертання та розточування, що є привабливим для реалізації технологічних процесів оброблювання отворів. Розроблена конструкція пристосування дозволяє швидко та ефективно базувати і закріплювати заготовку.

Для типової корпусної деталі розроблена і перевірена програма оброблювання на основі програмного забезпечення HEIDENHAIN.

В цілому в даній магістерській дисертації вирішується задача використання наявного обладнання для виготовлення конкурентно здатної продукції з відносно не значними затратами на його переобладнання.

# **1. Аналіз вертикально-свердлильних верстатів**

## **та їх основних вузлів**

В залежності від виду оброблювання заготовок різанням металорізальні верстати поділяють на дев'ять груп. Кожна група містить десять типів, що характеризують призначення верстатів, їх компоновку, рівень автоматизації або тип застосовуваного інструмента.

Друга група призначена для свердлильних та розточувальних верстатів. Розрізняють наступні типи верстатів:

- 1) настільно- та вертикально-свердлильні;
- 2) одношпиндельні напівавтомати;
- 3) багатошпиндельні напівавтомати;
- 4) координатно-розточувальні верстати;
- 5) радіально- та координатно-свердлильні;
- 6) розточувальні верстати;
- 7) обробно-розточувальні;
- 8) горизонтально-свердлильні;
- 9) різні свердлильні.

Модель верстата позначається поєднанням букв і цифр.

Перша цифра означає номер групи, друга - номер підгрупи тобто тип верстата, а останні дві цифри - найбільш характерні технологічні параметри верстата.

Буква, що стоїть в кінці цифрової частини, визначає модифікацію базової моделі, клас точності або його характерні особливості.

Класи точності верстатів позначають буквами:

Н – нормальної точності;

П - підвищеної;

В - високої;

А - особливо високої точності;

С –особливо точні верстати.

Моделі з програмним керуванням індексаються наступним чином:

1Д - з цикловим управлінням;

Ф1 - з цифровою індексацією положення;

Ф2 - з позиційною системою ЧПК;

Ф3 - з контурною системою ЧПК;

Ф4 з комбінованою системою ЧПК;

М - верстат з магазином інструментів .

На верстатах, що призначені для оброблювання корпусних, плоских або заготовок іншої форми, що не обертаються при обробці, положення координатних осей визначають за правилом правої руки: великий палець - вісь Х, вказівний - вісь Y середній - вісь Z (рис 1.1).

Для визначення координатних переміщень верстата праву руку тильною стороною розташовують відносно оброблюваної площини заготовки так, щоб напівзігнутий середній палець збігався з віссю обертання інструменту (+Z); тоді великий палець показує напрям по осі +X; а вказівний – напрям по осі +Y.

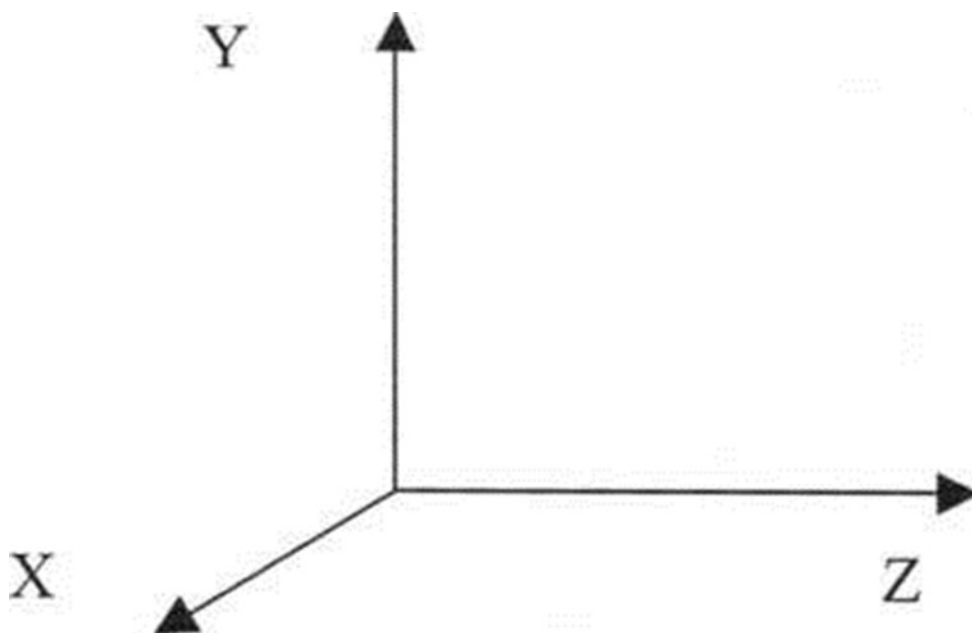
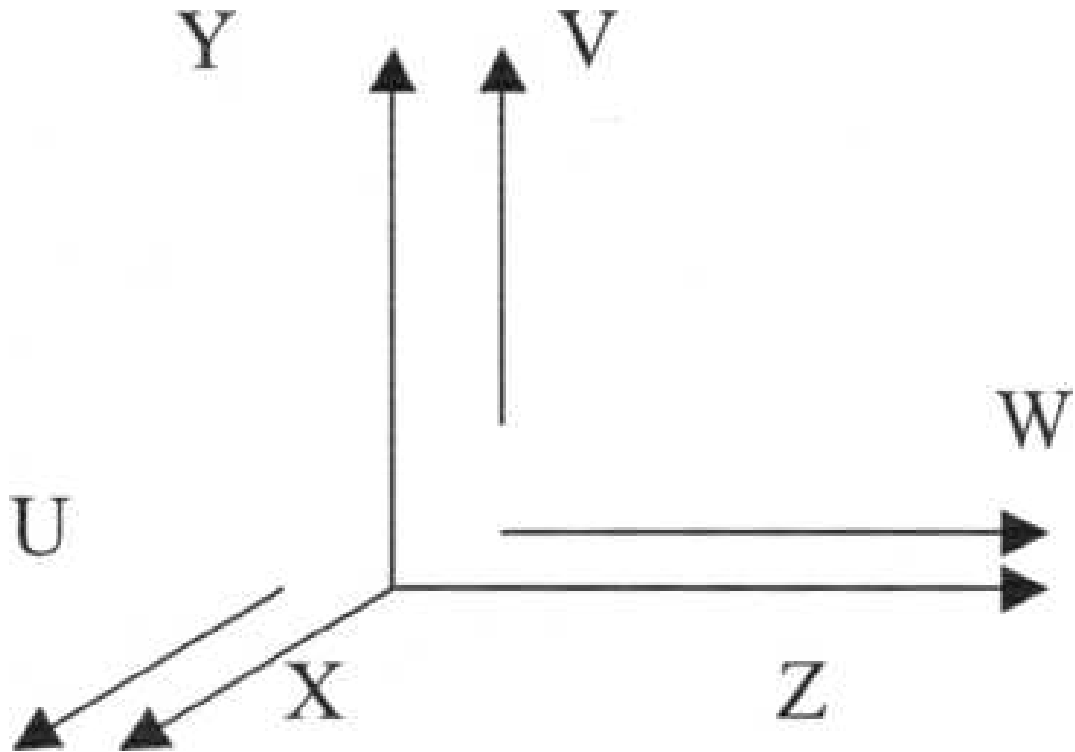
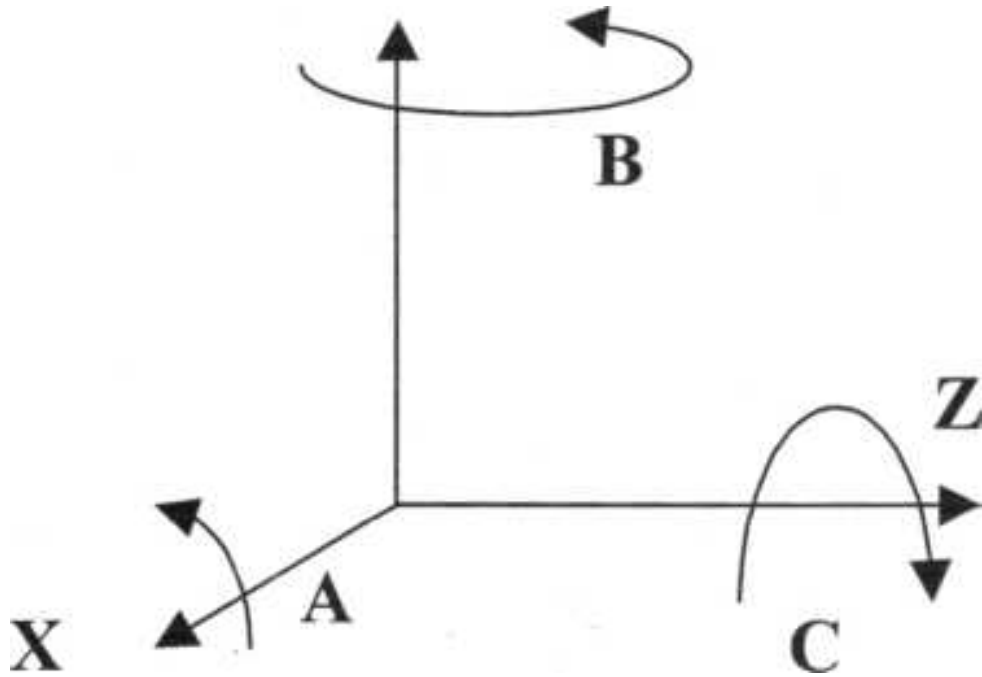


Рис. 1.1. Положення координатних осей

Окрім переміщень по основних координатних осях  $X$ ,  $Y$  та  $Z$  можливі також переміщення ( $W, W''$ ) та обертання ( $V, V''$ ) відносно вторинних осей, що паралельні основним (рис. 1.2, а, б).



а)



б)

Рис 1.2. Переміщення – а та обертання навколо вторинних осей - б

За компоновкою верстати діляться на наступні групи: вертикально-свердлильні з хрестовим столом; консольно-свердлильні та широкоуніверсальні.

У вертикально-свердлильних верстатах з хрестовим столом стіл може переміщуватись у поздовжньому напрямку - вздовж осі X та поперечному вздовж осі Y. Шпиндельна бабка переміщується вертикально (вісь Z) (рис.1.3).



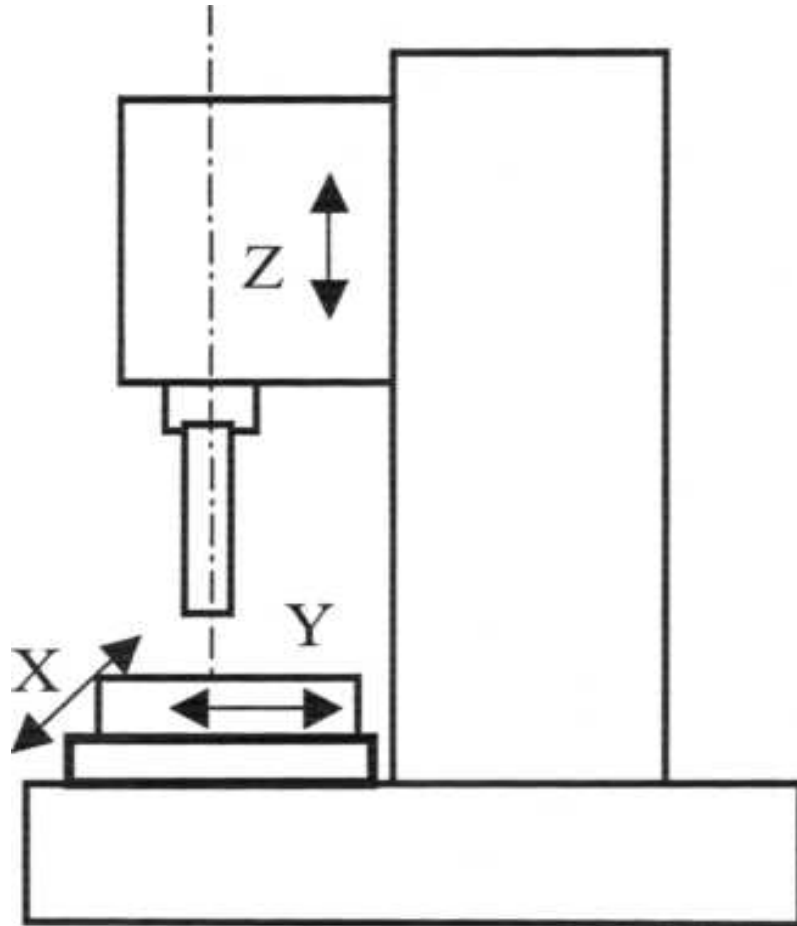


Рис.1.3. Компонування вертикально-свердлильного верстата з ЧПК

Вертикально-свердлильні верстати дуже широко використовують у всіх галузях машинобудування.

Вертикально-свердлильні верстати розділяють на декілька груп за різними ознаками:

- 1) універсальні, спеціалізовані та спеціальні;
- 2) автоматизовані, верстати з програмним керуванням, з механічною або ручною подачею;
- 3) одношпиндельні, багатошпиндельні та багатоколонні;
- 4) нормальної та підвищеної точності .

Одношпиндельні вертикально-свердлильні верстати розділяють на дві групи:

- а) настільні верстати для оброблювання отворів з максимальним діаметром від 3,6 до 12мм, що застосовуються в машинобудуванні з подачею шпинделя вручну;

б) верстати на колоні для оброблювання отворів з максимальними діаметрами 18, 25, 35, 50 та 75 мм. До недоліків слід віднести те, що для поєднання осей оброблюваного отвору та інструменту необхідно виконувати переміщення деталей відносно інструменту вручну.

Багатошпиндельні свердлильні верстати поділяють на такі дві групи:

а) верстати з постійними шпинделями, що мають загальну станину. На станині встановлено ряд стійок. На кожній стійці змонтовано шпиндель з окремим електроприводом. На верстаті можна оброблювати послідовно один і той же отвір різними різальними інструментами;

б) верстати з переставними шарнірно-з'єднаними шпинделями дають можливість встановлювати їх незалежно один від одного, відповідно розташуванню отворів.

Послідовність робіт на свердлильних верстатах складається з наступних елементів:

- установка, суміщення осі свердла та отвору;
- закріплення заготовки та її переміщення;
- керування режимами різання;
- установка частоти обертання різального інструменту;
- установка величини подачі;
- включення та виключення подачі інструменту;
- вмикання електродвигунів головного руху та змащувально-охолоджувальної рідини;
- зупинка верстата та зняття обробленої деталі.

На радіально-свердлильних верстатах виконують ті ж операції, що і на вертикально-свердлильних, а саме:

- свердління отворів у суцільному матеріалі,
- розсвердлювання та зенкерування попередньо просвердлених отворів;
- зенкування торцевих поверхонь;
- розвертання отворів;
- нарізування різьби мітчиками.

За допомогою спеціальних інструментів та пристосувань можна розточувати отвори, канавки, вирізувати отвори великого діаметру в заготовках з листового матеріалу і т.п.

Принципова відмінність від вертикально-свердлильних верстатів в тому, що при роботі на них оброблювана заготовка переміщується відносно свердла, а в радіально-свердлильних верстатах навпаки - свердло переміщується відносно оброблюваної заготовки. Це зроблено не випадково, оскільки при обробці заготовок з великою масою їх установка, вивірка та закріплення вимагають більше часу, ніж на підведення свердла.

Шпиндель радіально-свердлильного верстата легко можна переміщати як в радіальному напрямку, так і по колах з різними радіусами. Радіально-свердлильні верстати забезпечують широкий діапазон частот обертання та велике число швидкостей шпинделя і механічних подач. Головний привод характеризується великою потужністю. Органи керування зосереджують в одному місці – на свердлильній головці. Вмикання та реверсне обертання шпинделя здійснює багатодискова фрикційна муфта, а зміну швидкостей та подач - гідравлічне преселективне керування.

Координатно-свердлильні та координатно-розточувальні верстати належать до групи універсальних металорізальних верстатів, що забезпечують оброблювання заготовок в прямокутних та полярних координатах. Крім свердління на верстаті виконують розсвердлювання, зенкерування, розвертання, розмітку, перевірку лінійних розмірів і т.п. З використанням поворотних столів виконують оброблювання в полярній системі координат отворів з похилими взаємоперпендикулярними осями.

Координатно-свердлильні та координатно-розточувальні верстати застосовують в одиничному і серійному виробництві для оброблювання отворів в кондукторних плитах, корпусних заготовках та відповідальних деталях машин, коли необхідно досягти високої точності взаємного розташування отворів без спеціальних пристосувань.

Точність лінійних переміщень для верстатів малих розмірів знаходиться в межах 2 мкм, середніх - 3...4 мкм а великих - 6...8 мкм. У верстатах підвищеної точності точність установки досягає 1 мкм, а кутове переміщення до 5 ".

Координатно-розточувальні верстати забезпечують не тільки високу точність розташування осей оброблюваної деталі, але і високу точність геометричної форми (по круглості та циліндричності). Конструкція координатно-розточувального верстата по суті поєднує металорізальний верстат та вимірювальну машину. Це дозволяє контролювати деталі, що виготовлені на інших верстатах. Ці верстати застосовують також для точних розмічувальних, ділильних та інших робіт. Координатно-розточувальні верстати розрізняють за компоновкою, типом вимірювальних пристроїв та ступенем автоматизації.

Точне переміщення рухомих елементів верстата можна здійснити за допомогою чотирьох систем пристроїв: 1) точних ходових гвинтів з лімбами, ноніуса з корекційною лінійкою, 2) жорстких та регульованих кінцевих мір в поєднанні з індикаторними пристроями; 3) точних масштабів з оптико-механічними системами, 4) індуктивних датчиків для вимірювання координат.

Координатно-свердлильні верстати мають різний рівень автоматизації, аж до циклового і числового програмного керування [9].

Будь-який металорізальний верстат складається з окремих складальних одиниць (вузлів), кожен з яких відповідає певному призначенню. Основу верстата складають корпусні деталі. До них відносять станину, стійки, траверси, колони. Складальна одиниця оброблюваної деталі - це стіл, на якому встановлюють та закріплюють деталь. Складальна одиниця різального інструменту - це шпиндельна бабка, що надає різальному інструменту обертальне, а іноді і поступальне переміщення.

Під компоновкою верстата розуміють об'єднання та сполучення окремих складальних одиниць і механізмів в єдине ціле. В залежності від розташування шпинделів розрізняють горизонтальні та вертикальні верстати а також похилих і комбінованих компоновок.

Всі компоновки вертикально-свердлильних верстатів можуть бути розділені на 3 групи: типу кронштейн, агрегат або рухливий моноблок та прес - нерухомий моноблок.

Верстати з компонуванням типу кронштейн характеризуються тим, що коробка швидкостей виконана окремим самостійним вузлом, що розташовується на верхній частині колони. Шпиндель, коробка подач та механізм подач розміщуються в корпусі. Довгий час ця компоновка вважалася класичною. Проте в 60-х роках верстатобудівна промисловість усього світу перейшла на агрегатну компоновку.

Вертикально-свердлильні верстати агрегатної компоновки відрізняються тим, що у них, як і в радіально-свердлильних верстатах, усі вузли, що здійснюють обертальний та поступальний рухи об'єднані в один силовий вузол, так звану свердлильну головку. У верстатах важкого типу з діаметром свердління більше 50 мм рух подачі надається усім головкам, а шпиндель виконує тільки обертальний рух. Свердлильна головка встановлюється на колони та стійки за допомогою допоміжних плит або кронштейнів.

У верстатах з компонуванням типу прес коробка швидкостей, коробка подач, механізм подач, шпиндель та інші вузли розміщені у верхній частині колони, а вертикальне установче переміщення виконує тільки стіл. Перевага в підвищеній жорсткості верстата.

Зустрічаються верстати інших типів. Вертикально-свердлильні верстати з ЧПК виконуються в основному по агрегатній компоновці, а механізм подач з тиристорним приводом монтується на колоні в тому місці, де в компоновках типу кронштейн встановлюється коробка швидкостей.

Колони вертикально-свердлильних верстатів зв'язують між собою окремі вузли верстата в заданому просторовому розміщенні та забезпечують точність їх взаємного розташування під робочим навантаженням. Розрізняють дві конструкції колони: цілісні та роз'ємні. За формою колони діляться на коробчасті та круглі. Найбільшого поширення набули вертикально-свердлильні верстати з литою колоною. По напрямних колони переміщуються свердлильна

головка та стіл. В середині колони розміщується противага, а також металічні рукави для електрообладнання. Розміри поперечного перерізу колони залежать від зусилля подачі і найбільшого крутного моменту на шпинделі. Поперечний перетин являє собою коробчастий прямокутник, на передній стороні якого є напрямні для переміщуваних вузлів. В універсальних верстатах напрямні мають форму «ластівчиний хвіст» з кутом  $55^\circ$ . У спеціальних та важких верстатах, в яких рух подачі здійснюється за рахунок переміщення свердлильної головки, колони виконуються з прямокутними напрямними.

Поряд з цільними колонами є група вертикально-свердлильних верстатів із збірними колонами. Вони трудомісткі у виконанні, але дозволяють створювати ряд уніфікованих модифікацій верстатів.

У колонах розміщують противаги для зрівноважування шпинделів або свердлильної головки.

Розрізняють два види противаг: безпосередньої дії, коли вантаж безпосередньо через ланцюг зв'язаний з врівноважуваним вузлом та редукцією ваги, або коли цей зв'язок здійснюється через систему поліспахів, що дає вигоду у масі вантажу в два рази. Противага складається з основного та додаткових вантажів.

Колони верстатів закріплюють на фундаментних плитах.

Універсальні верстати поставляються з консольними столами. Стіл переміщується вручну по напрямних колонах за допомогою гвинтового механізму. В залежності від призначення верстата використовують круглі поворотні столи, плаваючий стіл або координатний універсальний стіл. Круглі поворотні столи застосовують для обробки отворів, що розташовані по колу паралельно осі обертання в кільцях, дисках, фланцях, втулках або інших виробах. Нормалізовані столи можуть допускати поділ на 2, 3, 4, 6, 8 і 12 рівних частин, а також під кутами  $15^\circ$  та  $30^\circ$ . Столи застосовують також в багатопозиційній обробці отворів на верстатах, що оснащені багатошпиндельною свердлильною головкою. На плаваючому столі заготовку можна встановити в кондукторі, що закріплений на рухомому столі. Заготовку

до інструменту підводять вручну. Стіл координатний універсальний забезпечує два взаємноперпендикулярних переміщення. Заготовку встановлюють на столі або в пристосуванні. Переміщення столу в обох напрямках гвинтове. Величина кожного переміщення складає 230 мм.

В найбільш поширених вертикально-свердлильних верстатах багатовалові дев'ятишвидкісні коробки зі знаменником  $\phi = 1,41$  та діапазоном регулювання  $R = 16$ , що побудовані за структурою  $3 * 3$ . Використання для цих коробок простих структурних схем, що утворюються шляхом послідовного з'єднання двовалових групових передач, стало можливим завдяки наявності прискорювальної передачі в останній групі. Це дозволяє отримати в групі передач великий діапазон передавальних співвідношень. Недоліком коробки швидкостей є те, що на вертикальних ступенях в роботі беруть участь те ж число зубчастих коліс, що і на нижніх, внаслідок чого підвищуються втрати на тертя. Удосконалені нові уніфіковані коробки швидкостей мають не більше чотирьох валів. Конструкція коробки швидкостей багато в чому залежить від компонування верстата.

Коробки подач вертикально-свердлильних верстатів - це багатовалові механізми, що утворені шляхом послідовного з'єднання групових передач. Коробки подач верстатів 2Н118, 2Н125, 2Н135 і 2Н150 мають відповідно 6, 9, 9, 12 подач. В останніх трьох верстатах коробки подач уніфіковані між собою. Це трьохвалові механізми, що побудовані за структурними формулами  $3 * 4$  і  $3 * 3$ . Коробки подач цих верстатів відрізняються тільки передавальним відношенням приводу. Це кінематичний ланцюг від шпинделя до першого валу коробки подач. Коробки подач в цих верстатах змонтовані в окремому литому корпусі. У вертикально-свердлильних верстатах застосовують однорукояточні, преселективні, автоматичні та багатоорукояточі механізми перемикання швидкостей і подач. Використання того чи іншого механізму визначається призначенням верстата.

Шпинделі свердлильних верстатів мають три специфічні ділянки: зовнішній кінець - головка шпинделя, що призначений для центрування та

закріплення різального інструменту; середню ділянку, що є конструктивною базою шпинделя, на якому розташовані шийки під опори; верхній кінець, який одержує рух від гільзи в коробці швидкостей.

Форма та розміри кінців шпинделів свердлильних і розточувальних верстатів регламентовані ГОСТ 2701-72. Найчастіше в свердлильних верстатах використовують кінці шпинделів з конусами Морзе, що призначені для центрування інструменту та передачі крутного моменту. Розміри конусів приймають відповідно до ГОСТ 2847-67. У верстатах з автоматичною зміною інструментів для установки оправок застосовують конуси по ГОСТ 15945-82.

Верхні пази призначені для вивірки, а нижні передбачаються в шпинделях, починаючи з конуса Морзе № 3. Це верстати з найбільшим умовним діаметром свердління 35 мм та вище. У верстатах нормальної точності шпинделі змонтовані на двох кулькових радіальних та двох кулькових упорних підшипниках. Осьове зусилля подачі сприймається переднім упорним підшипником. У верстатах підвищеної точності а також у важких верстатах в передній опорі застосовують дворядний радіальний роликовий підшипник з конічним внутрішнім кільцем. Регулювання радіального зазору здійснюють шляхом переміщення внутрішнього кільця по конічній шийці шпинделя. Після регулювання між буртом шпинделя та внутрішнім кільцем підшипника встановлюють дистанційне кільце.

Навантаження шпинделя свердлильного верстата характеризується значним осьовим та порівняно невеликими радіальними зусиллями. У першому наближенні діаметр шпинделя в найбільш ослабленому місці дорівнює найбільшому умовного діаметру свердління. Подальший розрахунок уточнює розміри окремих ділянок шпинделя

Механізми подач служать для передачі руху від коробки подач на рейкове кільце. За їх допомогою може здійснюватися: ручне підведення інструменту до заготовки, включення механічної подачі, виключення подачі та ручне відведення шпинделя. Механізми подач забезпечують ручну подачу, команду на автоматичне реверсування шпинделя при досягненні заданої глибини



нарізання різьби та автоматичне відключення подачі після досягнення встановленої глибини оброблювання.

Для багатоцільових верстатів характерні спеціальні пристрої - інструментальні магазини та механізми автоматичної зміни інструментів, які забезпечують в процесі обробки заготовки заміну в шпинделі верстата оброблювального інструменту відповідно до заданого технологічним процесом оброблювання.

Для автоматичної заміни інструменту та закріплення в шпинделі верстата різних за розміром і функціональним призначенням різальних інструментів в їх конструкції передбачають спеціальні посадочні місця та елементи для затиску. Це досягається установкою та закріпленням різальних інструментів в інструментальних оправках.

Інструментальні магазини призначені для розміщення інструментальних оправок та їхнього транспортування в зону передачі в шпиндель. Кількість інструментів визначається технологічними функціями верстата.

Для 15-40 інструментальних оправок використовують інструментальний магазин дискової конструкції простий і компактний. Якщо інструментів більше 30-40 конструкція дискового магазину стає неоптимальною. В цих випадках застосовують магазини ланцюгової конструкції.

Числове програмне керування верстатом - керування оброблюванням заготовки на верстаті по керуючій програмі, де дані задаються у цифровий формі. Розрізняють позиційні та контурні системи ЧПК.

При позиційному керуванні переміщення робочих органів верстата відбувається в задані точки а траєкторія переміщення не задається; при контурному керуванні переміщення робочих органів верстата відбувається по заданій траєкторії та з заданою швидкістю для отримання необхідного контуру після оброблювання. Пристрій, що видає керуючий сигнал на виконавчі органи верстата відповідно до керуючої програми називається пристроєм числового програмного керування.

Нижче представлені короткі описи сучасних координатно-свердлильних та подібних верстатів за результатами бібліографічного огляду.

Координатно-свердлильний верстат Pícomaх 80 фірми Fehmann (Швейцарія) оснащений пристроєм числового програмного керування типу TNC фірми Heidenhain. Керування переміщеннями по осі Z може бути ручним або від пристрою ЧПК. На замовлення верстат оснащують магазином на 20 позицій та пристроєм автоматичної заміни інструментів. Максимальний діаметр інструментів в магазині - 72 мм. В головному приводі верстата електродвигун потужністю 5 кВт, частота обертання якого регулюється безступінчасто в межах 50 - 9200 хв<sup>-1</sup>.

На верстаті можливе виконання фрезерних робіт.

Стіл має розміри 1230 \* 410 мм. Переміщення по осях X, Y, Z складають 700 \* 310 \* 180 мм. Найбільша відстань між поверхнею столу і торцем шпинделя - 620 мм. Швидкості подач по осях X і Y регулюються до 8 м/хв. В вимірювальній системі верстата застосовуються лінійні шкали (осі X, Y і W). Дискретність програмованих переміщень по цих осях - 1 мкм. Точність позиціонування на довжині 700 мм складає 15 мкм.

Координатно-свердлильний верстат фірми Sema має двох-координатну систему ЧПК і оснащений серводвигуном. На вимогу можливе переміщення по осі Z також по системі ЧПК.

Верстат може бути оснащений змінною багатошпиндельною головкою, револьверною головкою з кількістю інструментів до шести або різьбонарізним інструментом. Верстат має свердлильну головку фірми Hedelis моделі BV07. Кульковий ходовий гвинт не вимагає додаткового обслуговування і гарантує високу точність переміщень. Можливе використання на верстаті кількох шпиндельних головок. Робоча поверхня верстата 1100 \* 300 мм, E-образні пази мають ширину 12 мм.

Координатно-розточувальний верстат моделі BK0Z 900/6 фірми Mikromat (Німеччина) являє собою двохстійочний верстат, що має максимальне переміщення уздовж осі X - 1120 мм і вздовж осі Y - 710 мм. Привод головного

руху містить електродвигун потужністю 11 кВт, що забезпечує максимальний крутний момент на шпинделі 300 Н·М. Максимальна частота обертання 300 хв<sup>-1</sup>. Точність позиціонування рухомих вузлів верстата становить 0,005 мм при максимальному розсіюванні 0,003 мм. Верстат оснащений контурною системою ЧПК моделі TNC 355 Q, яка забезпечує керування переміщеннями по 4-х осях, а при установці на верстаті поворотного ділильного столу - по 5-ти осях.

Прецизійний координатно-свердильно-фрезерний верстат фірми Fehlmann (ФРН), що виконує координатне свердління, фрезерування, нарізування різьби, розточування, притирання, шліфування, вимірювання. Призначений для обробки одиничних деталей і невеликих партій. Верстат відрізняється точним позиціонуванням, безступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя від пристрою ЧПК, наявністю автоматичного послідовного свердління отворів і нарізування різьби, компактною і енергоємною конструкцією, зручністю обслуговування. Найбільша величина переміщень по осі X - 450 мм, по осі Y - 260 мм. Межі регулювання частот обертання шпинделя від 50 До 9200 хв<sup>-1</sup>.

Високошвидкісний свердильний верстат з ЧПК (Японія) для координатного свердління. Для скорочення допоміжного часу програмним способом проводиться переміщення інструменту від отвору до отвору, поєднане з відведенням свердла від поверхні оброблюваної деталі.

Координатно-розточувальний верстат моделі VJI DIC4A (Японія) має високу частоту обертання шпинделя 4000 хв<sup>-1</sup>. Точність позиціонування рухомих органів становить 0,5 мкм, стабільність позиціонування при виході на координату 0,35 мкм. Дискретність 0,1 мкм. Верстат оснащений пристроєм автоматичної зміни інструментів і пристосувань-супутників. Зміна інструменту виконується за секунду, зміна супутника-за 15 с.

Пристрій для закріплення інструменту в шпинделі верстата (ФРН) призначений для систем автоматичної зміни інструменту. Інструмент забезпечений хвостовиком циліндричної або конічної форми з плоским

опорним кінцевим торцем, під який в шпинделі виконано відповідно отвір. Закріплення інструменту в шпинделі здійснюється тягнучим механізмом будь-якої конструкції. Для зменшення величини зусилля, необхідного для фіксації інструменту, а також для підвищення довговічності сполучених поверхонь на них нанесено зносостійке антифрикційне покриття до 0,005 мм, переважно 0,002 мм. Як матеріал покриття можуть бути використані нітриди титану або бору, а також аморфний вуглець.



Рис1.1 Координатно-свердильний верстат



Рис. 1.2. Свердильный верстат



Адаптер	Наклонный стол	Инструмент станков EFCO	До DN
МК2	ENT-1	300 x 300 (11.8" x 11.8")	Valva-1, Valva-S1 150 (6")
	ENT-2	500 x 500 (19.7" x 19.7")	Valva-15 300 (12")
		SL-15	400 (16")
МК 3	ENT-3	1000 x 1000 (39.4" x 39.4")	SL-2, Valva-2 600 (24")
МК 5	ENT-4	1500 x 1500 (59" x 59")	SL-3, Valva-3 1200-1600 (48"-64")

Размеры: мм (дюйм)

Рис. 1.3. Характеристики

## 2. Опис базового верстата та його вузлів

За базовий верстат виступає координатно-свердлильний верстат (рис. 2.1 та 2.2), що призначений для суцільного свердління в сталі отворів з найбільшим діаметром до 50 мм, розсвердлювання, ровертання в деталях типу конусів, кришок і т. п. без попередньої розмітки та застосування кондукторів.

Заготовку закріплюють на столі верстата і виконують установче переміщення по горизонтальній осі X. Свердлильна головка, що встановлена на повзуні та каретці, може переміщуватися по горизонтальній осі Y та вертикальній осі Z.

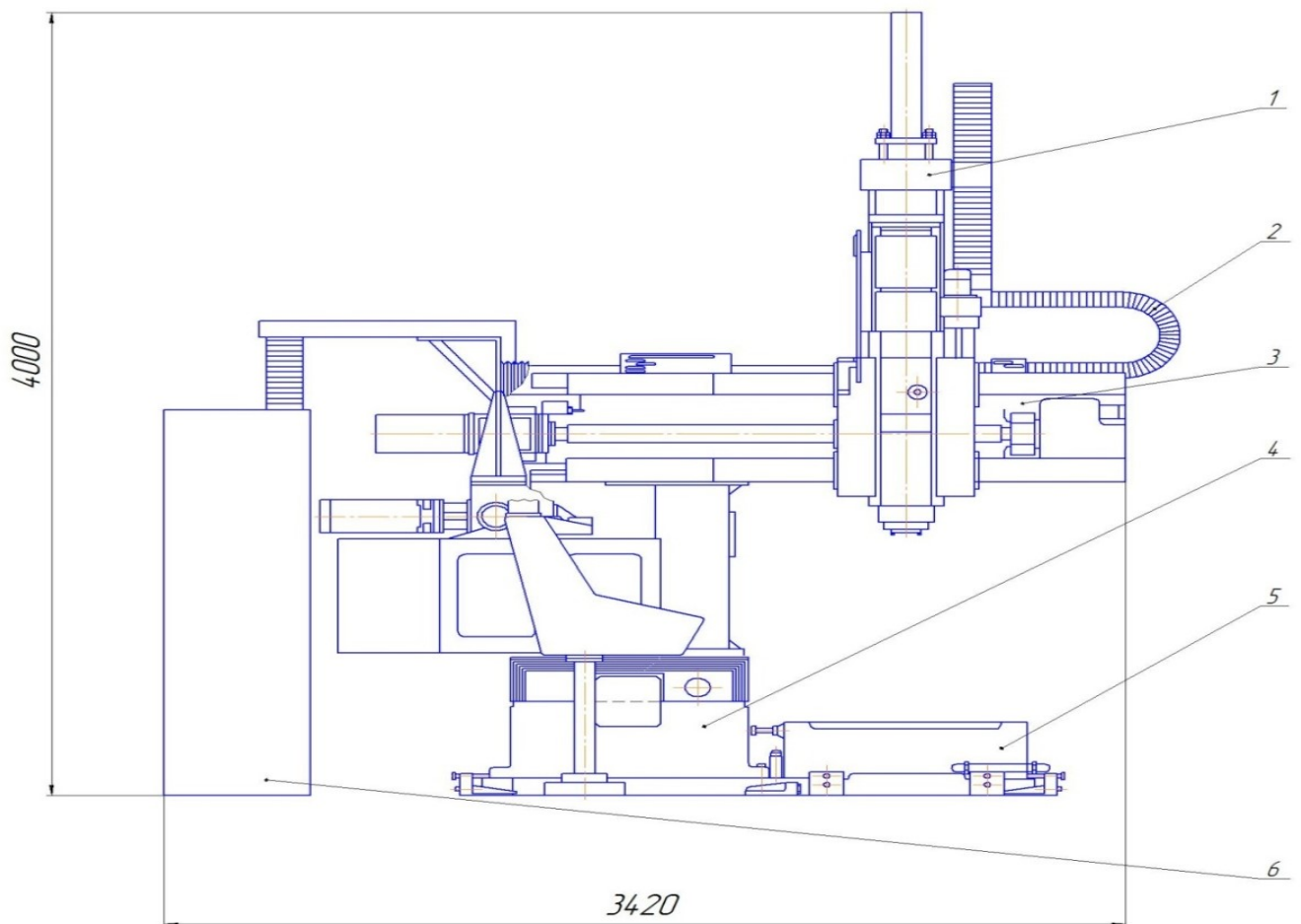


Рис. 2.1. Загальний вигляд верстата

Програма здійснюється за допомогою системи прямокутного типу 2П32-3 з переміщенням по трьох координатних по двох з них одночасно.

Розташування Вісь шпинделя розташовується вертикально.

Верстат оснащений інструментальним магазином (рис. 2.3), що виконує автоматичну заміну різальних інструментів.

Основні вузли верстата (дивись креслення):

Станина - 4, каретка - 3, коробка швидкостей, свердлильна головка - 1, повзун з індивідуальним приводом, стіл - 5, противага, гідростанція, магазин інструментів - 2, пристрій числового програмного керування - 6.

Основні технічні характеристики базового координатно-свердлильного верстата мод. 25500СМФ4:

Найбільший умовний діаметр свердлення в сталі, мм	50
Розміри робочої поверхні столу, мм	400 * 630
Найбільший вертикальний програмуємий хід шпинделя по осі - Z, мм	630
Найбільший хід шпинделя по горизонтальній осі V (свердлильна головка),	1000
Половина програмуємого ходу стола по осі X від середнього положення, мм	800
Конус Морзе конічного отвору в шпинделі	25
Діапазон частот обертання шпинделя, $\text{мм}^{-1}$	16 ... 3000
Кількість подач шпинделя (свердлильної головки)	12
Межі подач шпинделя, мм/хв	50 .. 2 000
Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт	15
Кількість інструментів в магазині автоматичної зміни інструментів	30
Тип системи ЧПК	2П32-3
Габаритні розміри верстата, мм	
довжина	8640
ширина	4200



Висота

4000

Маса верстата, кг

12600

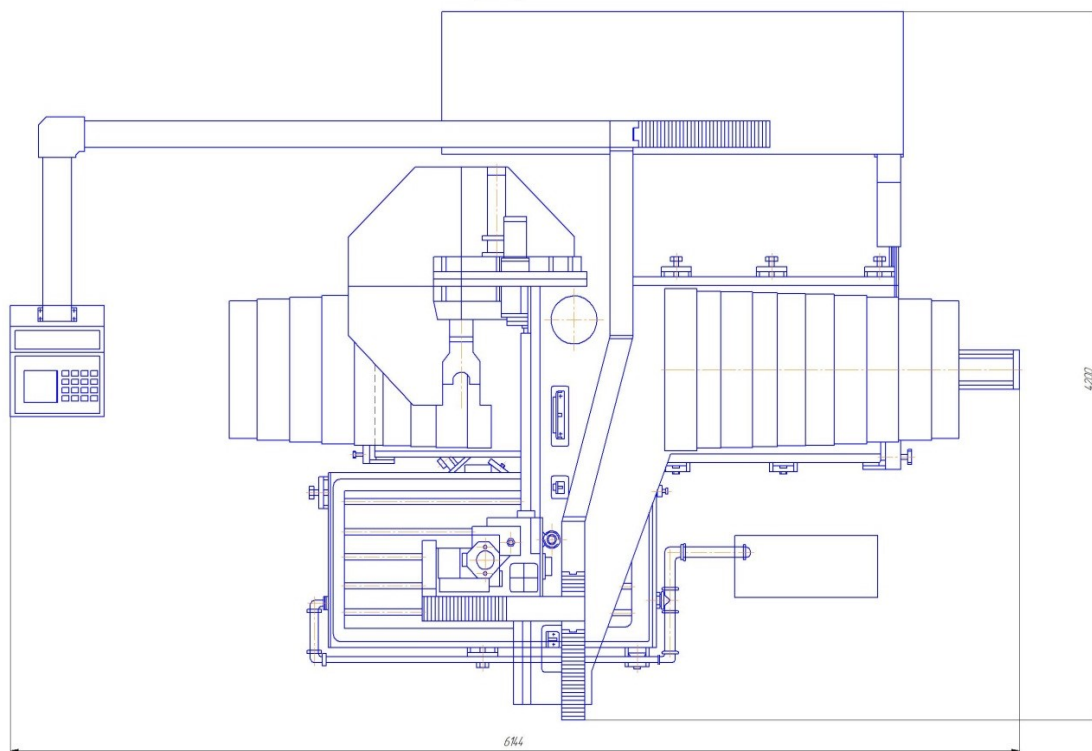
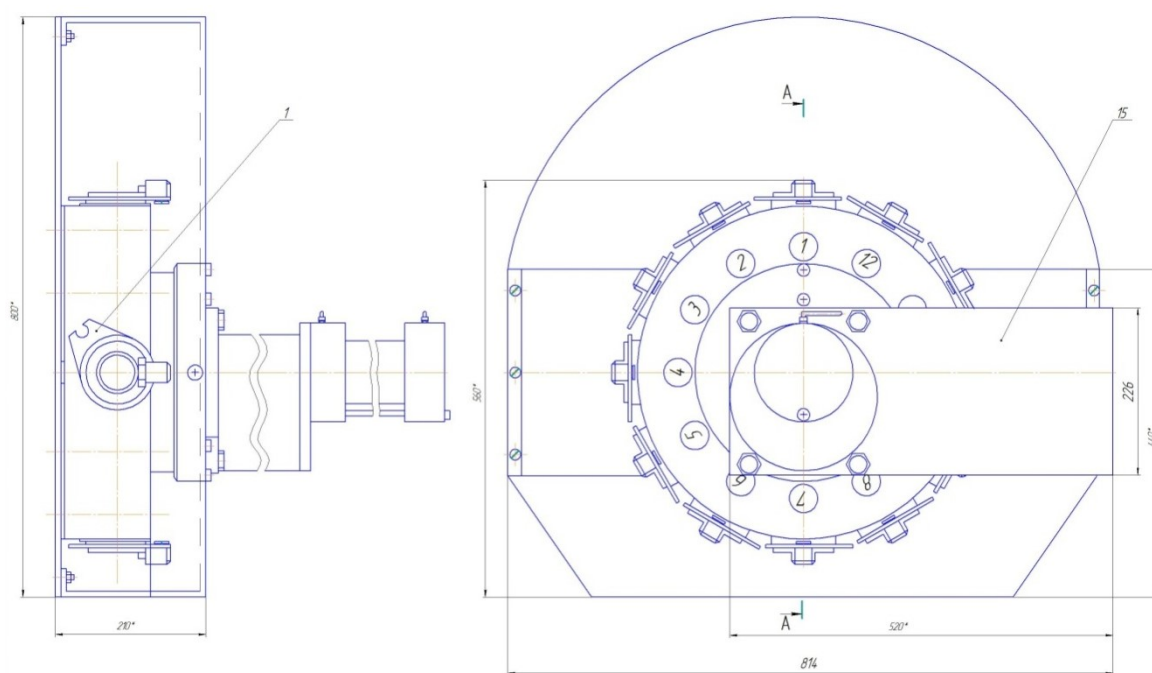


Рис. 2.2. Вигляд верстата зверху



\* Розміри для довідок

Рис. 2.3. Інструментальний магазин

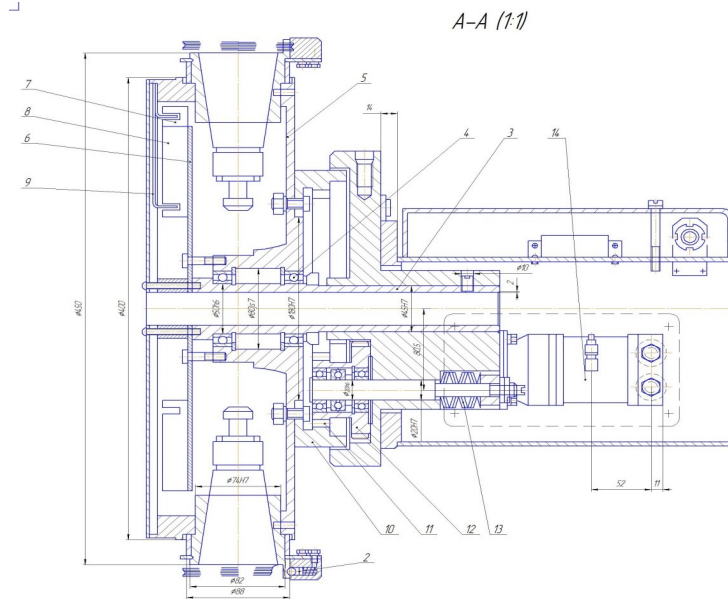


Рис. 2.4. Інструментальний магазин - поздовжній розріз

Для зменшення тертя в передачах, що надають безпосередньо рух виконавчим органам, у верстаті використовують кулькові безззорні гвинтові пари; які виконують механічні передачі приводів подач. На важких верстатах застосовують напрямні кочення. Змащування напрямних здійснюється автоматично.

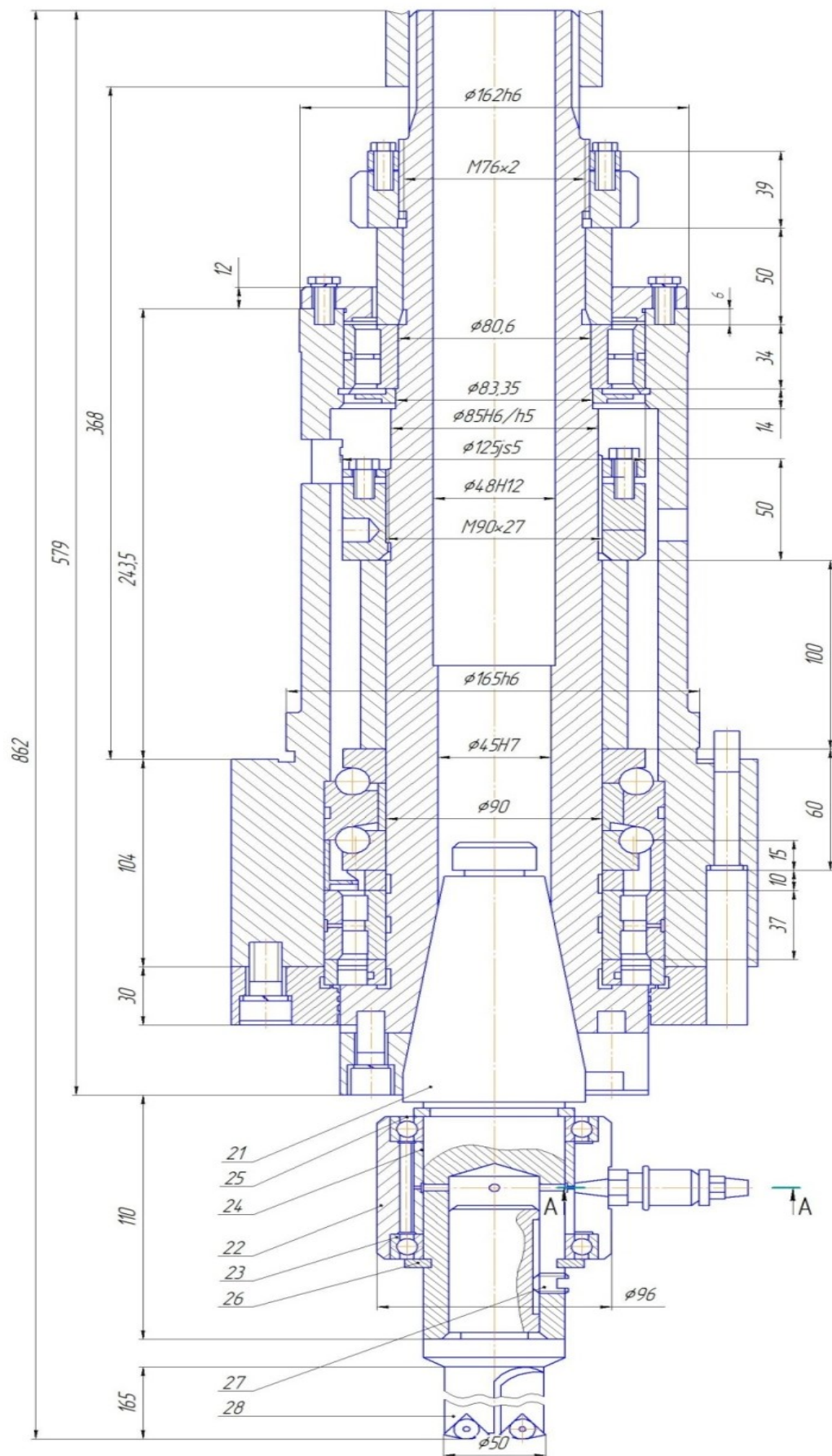


Рис. 2.5. Шпиндельный узел верстата

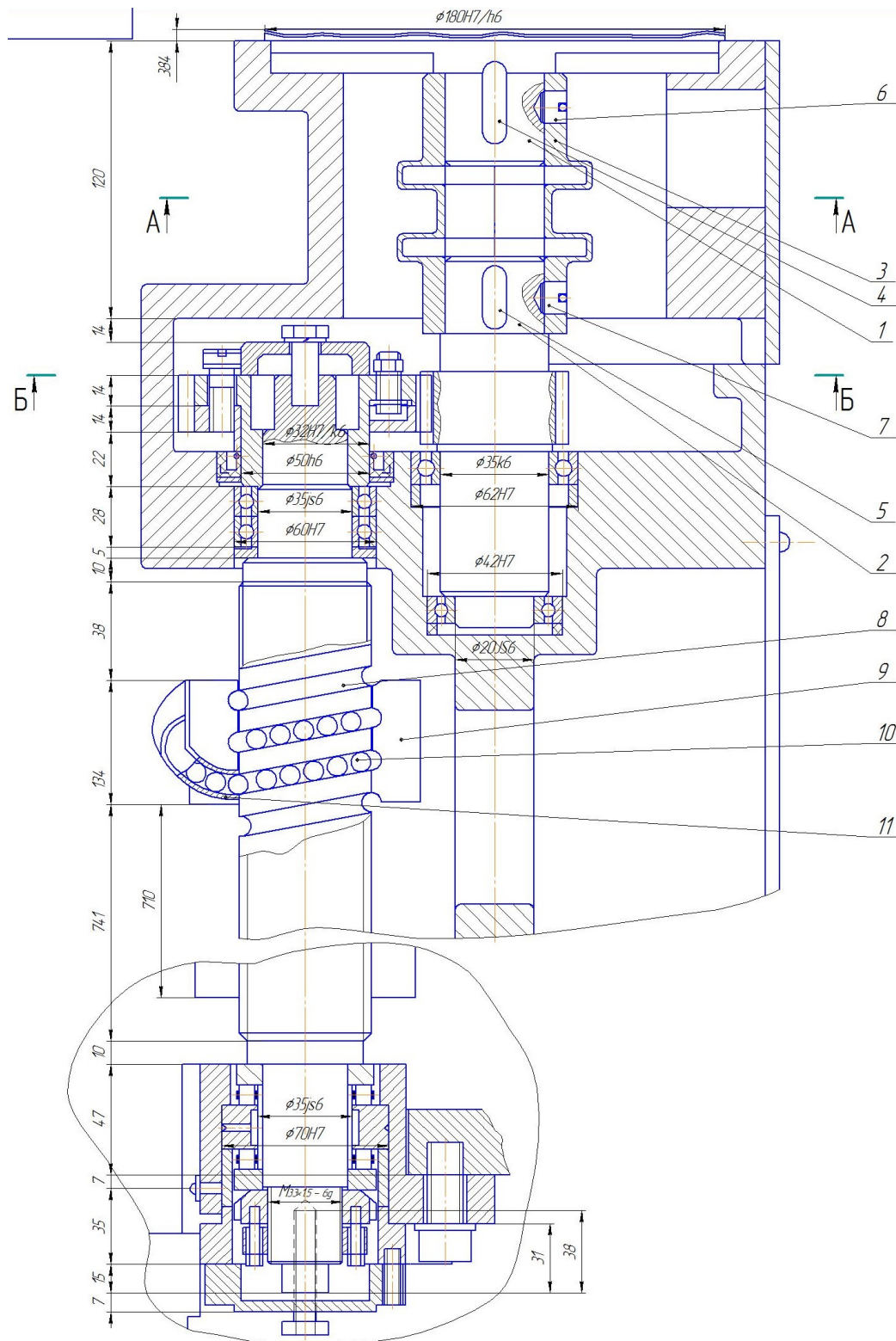


Рис. 2.6. Механізм переміщення бабки верстата



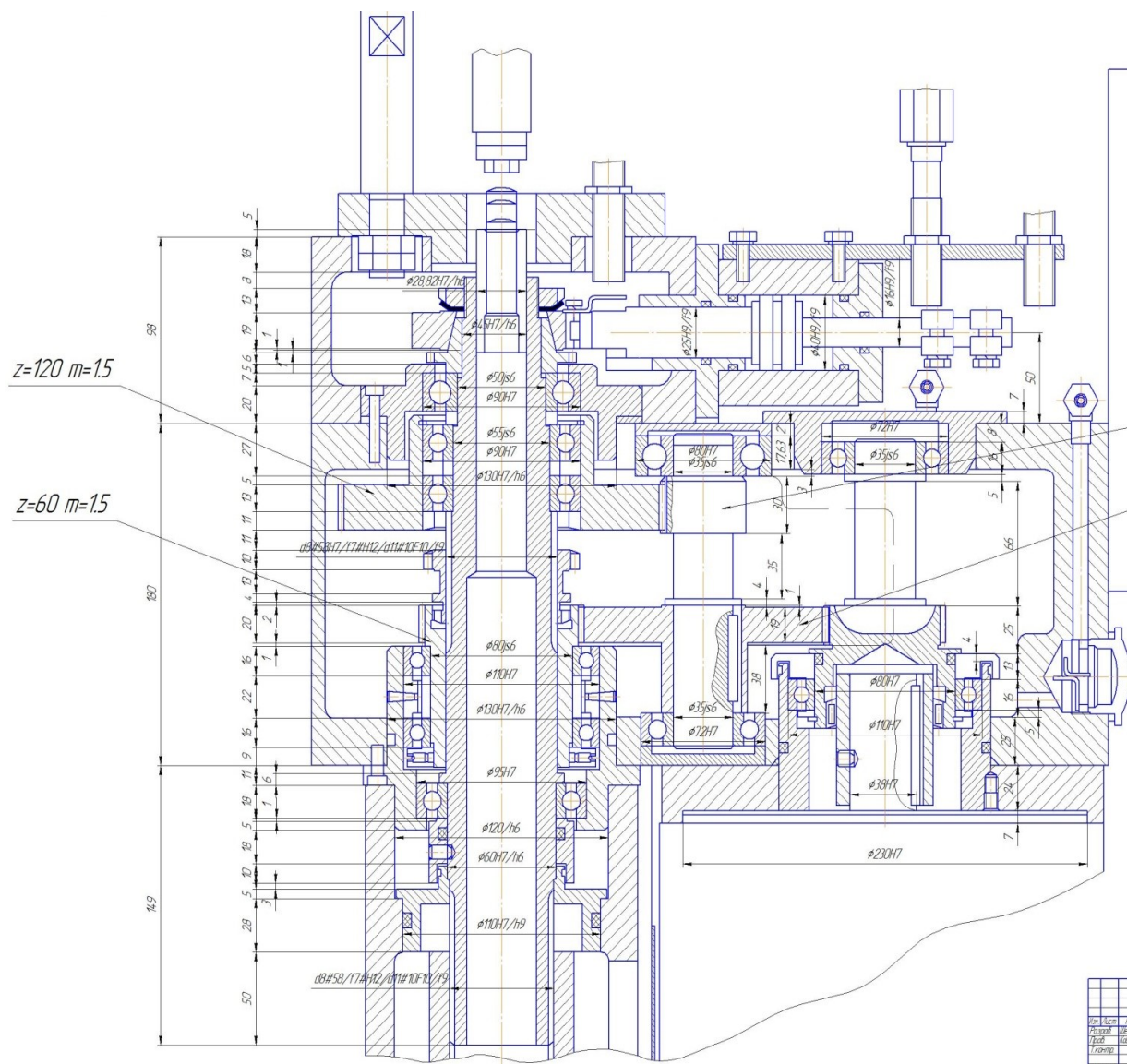


Рис. 2.7. Привод обертання шпинделя верстата

### 3. Поворотний стіл HRT SP

Для розширення технологічних можливостей верстата вибираємо поворотний стіл. Поворотний стіл серії HRT SP надає нам такі ж можливості та переваги що і стандартна серія HRT. Відмінність полягає в тому, що електродвигун розташований позаду столу , забезпечуючи істотні зменшення габаритної довжини. Це дозволяє розміщувати великий стіл в обмеженій робочій зоні. За невелику додаткову оплату модель HRT 21OSP може оснащуватися диском A1- 6 , а модель HRT 16OSP - диском A1 -5.

Характеристики поворотних столів серії HRT SP

Таблиця 1

Тип	Позначення	Назва
А	HRT 16OSP	Поворотний стіл діаметром 160мм із заднім розташування електродвигуна та сервоприводом
В	HRT 21OSP	Поворотний стіл діаметром 210 мм із заднім розташування електродвигуна та сервоприводом

С	HRT 31OSP	Поворотний стіл діаметром 310 мм із заднім розташування електродвигуна та сервоприводом
---	-----------	---



Рис. 3.1. Поворотний стіл серії HRT SP

Основні особливості та переваги конструкції:

- потужна конструкція;
- поліуретановий кабель та МОР;

- швидке , просте та гнучке програмування;
- просте з'єднання з системою ЧПК за допомогою M – кодів;
- пряме під'єднання до верстатів Haas різних моделей;
- регульована швидкість подач;
- можливість фрезерування по лінії , дузі та спіралі;
- відносно швидка установка;
- висока точність та відтворюваність позиціювання.

Для керування поворотним столом використовується сервоконтроллер

## Сервоконтроллер Haas



Рис. 3.2 Сервоконтроллер Haas



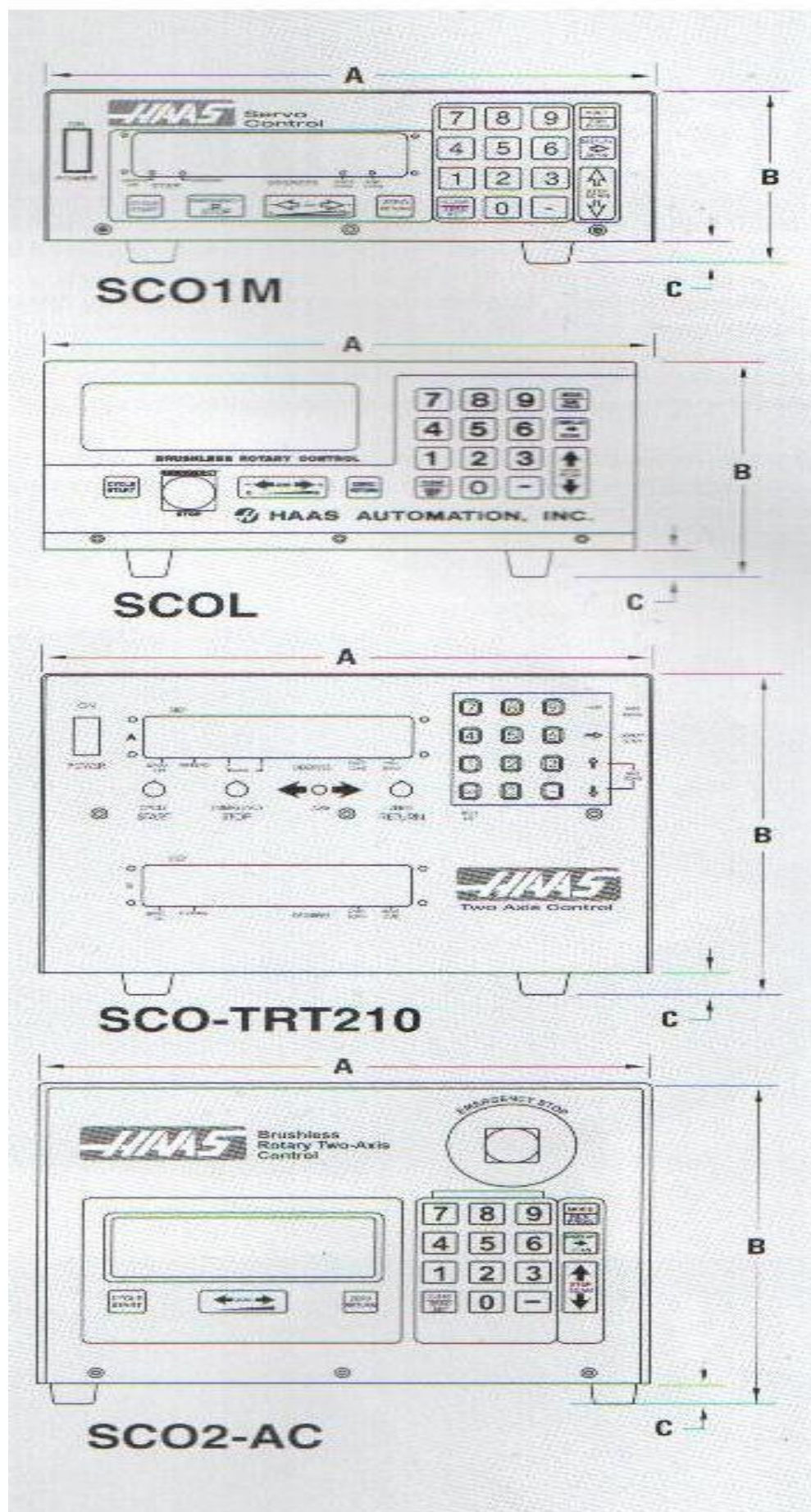


Рис. 3.3 Типи сервоконтролерів

Сервокерування Наас є основою для усіх поворотних столів цієї фірми.

Завдяки постійному вдосконаленню на протязі більш як двох десятиліть , воно забезпечує широку універсальність, швидке, відносно просте та гнучке програмування . Система керування Наас постійно базується на новітніх технологіях в сфері мікропроцесорів та приводів.

Програмне забезпечення Наас унікальне. Воно замінило потенційно ненадійні механічні компоненти та включає програму самодіагностики і максимально збільшує час безвідмовної роботи . Усіма основними функціями керує одна плата.

При використанні з будь-яким оброблювальним центром з ЧПК ця система забезпечує напівавтоматичне керування четвертою віссю , та активується одним М-кодом.

Простий у приєднанні, швидкий в установці та доступний за ціною , цей продукт Наас - ідеальна альтернатива громіздким та дорогим чотирьохосьовим пристроям від інших виробників.

Використання стандартних функцій керування та просте програмування, забезпечує легке виконання непарного числа болтових отворів, що розташовані по колу із змінною відстанню між їх центрами.

Програмувати керування обертанням шпинделя в будь-якому напрямку може виконуватися з кроком від 0,001 до 999,9990 . Пам'ять зберігає до 99 різних переходів і кожен з них може циклічно повторюватися до 999 разів.

Програми повністю зберігаються навіть при аварійно вимкненому живленні .

Пам'ять може зберігати до 10 незалежних програм.

Завдяки використанню сервоконтролера Наас для керування поворотним столом ми зможемо легко підвищувати продуктивність оброблювання до трьох разів. Якщо враховувати високу якість та надійність, що властиві поворотним столам Наас, то наш вибір стає ще більш обґрунтованим. Використання поворотного столу дозволяє нам вирішувати задачі значного розширення технологічних можливостей координатно-свердлильного верстата

Поворотні столи Haas можна підключати до верстатів практично любых типів. Нижче представлені три різних методи приєднання, що відрізняються різними можливостями та обмеженнями. Протягом багатьох років проводиться успішне приєднання поворотних столів Haas до різноманітних верстатів. Сервісний відділ компанії Haas Automation надає експертне консультування щодо вибору оптимального інтерфейсу для виробників.

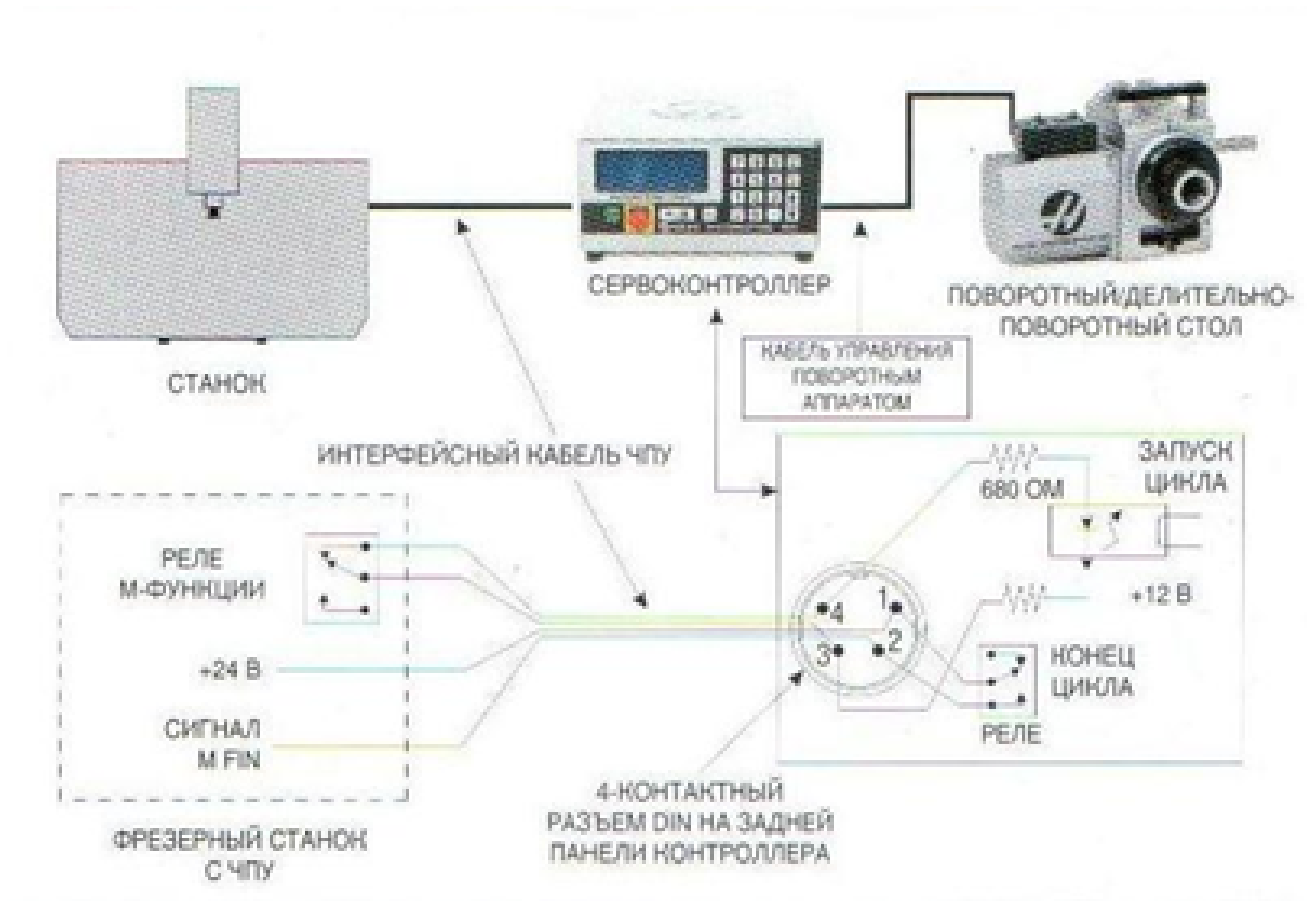


Рис. 3.4. Схема керування поворотним столом

Повне керування 4-ю віссю через систему ЧПК верстата виконується за рахунок вбудовування в систему керування верстата підсилювача, що забезпечує живлення та реальне багатоосьове керування одночасним рухом.

Всі оброблювальні центри Haas можуть обладнуватись також додатковими підсилювачами, що працюють з серійними поворотними столами

Haas . Програмування та керування поворотною віссю здійснюється безпосередньо через систему керування верстата - точно так , як і керування осями X , Y , Z. Для прямого керування на верстатах інших фірм деякі моделі поворотних столів Haas можуть обладнуватися сумісними серводвигунами

Керування 4-ю віссю через порт RS- 232 виконується при наявності сервоконтролера Haas та верстата з системою керування , що здатна передавати дані по каналу RS- 232 . Усі верстати з ЧПК компанії Haas можуть передавати такі дані , забезпечуючи керування послідовно підключеними сервоконтролерами але не більше трьох. На верстатах з ЧПК компанії Haas керування поворотною віссю здійснюється безпосередньо через систему ЧПК - як і керування осями X , Y та Z , не використовуючи M -коди. Для інших верстатів з ЧПК необхідна підтримка функції макрокоманд , зовнішнє реле із M-кодовим керуванням та підключення типу M- ФІН . Програмування також виконується через систему ЧПК .

Напіваавтоматичне управління 4-ю віссю через інтерфейсний кабель ЧПК виконується з використанням сервоконтролера Haas та верстата з системою керування , що здатна забезпечувати замикання реле або перемикача. Також у більшості верстатів з ЧПК передбачаються резервні M- коди, які можна використовувати для замикання реле.

Команди індексації зберігаються тільки в пам'яті сервоконтролера .

При кожному імпульсі з реле системи керування верстата запускається сервоконтролер для переходу до наступної запрограмованої позиції.

Після завершення індексації сервоконтролер сигналізує про закінчення та готовність до прийому наступного імпульсу. Цей метод не підходить для керування повністю синхронізованим багатоосевим переміщенням. Метод можна використовувати також для верстатів , що не оснащені системою керування.

Для нашого верстата ми вибрали метод керування 4-ю віссю через порт RS-232, що дозволяє забезпечити оброблювання отворів з будь-якими координатами та міжосьовими відстанями.

#### **4. Інструментальне забезпечення свердлильного верстату**

Задана точність оброблювання та надійність машини в роботі в значній мірі визначаються правильним вибором різальних інструментів та допоміжних інструментів для фіксації.

Різальний інструмент для верстатів з ЧПК практично не відрізняється від номенклатури інструментів для універсальних верстатів, що мають підвищені вимоги до точності розмірів та геометричної форми, якості заточування різальних кромок та стійкості інструментів.

Практичний досвід експлуатації верстатів показав, що точність оброблювання на верстатах з ЧПК в основному визначається точністю різального інструменту. Стандартний різальний інструмент, що використовується на цих металорізальних верстатах, повинен мати наступні параметри точності: свердління нецентрове не більше 0,1 мкм; радіальне биття не більш як 0,03-0,01 мкм; осьове биття різальних кромок не більше 0,04-0,08 мм. Хвостовики для більш точного та жорсткого закріплення в цангових патронах доцільно виконувати без виконання конуса. Для свердління отворів з точними координатами ефективно використовувати короткі свердла. Перед цим рекомендується відцентрувати укорочені свердла з кутом при вершині  $90^\circ$  а діаметри цих сверدل повинні бути більшими або дорівнювати діаметру просвердлених отворів.

На сьогоднішній день свердла з механічним кріпленням різальної частини перспективні для продуктивного свердління точних отворів, що приваблює виробників:





Рис. 4.1. Свердло із змінною головкою ( фірма TaeguTec»)

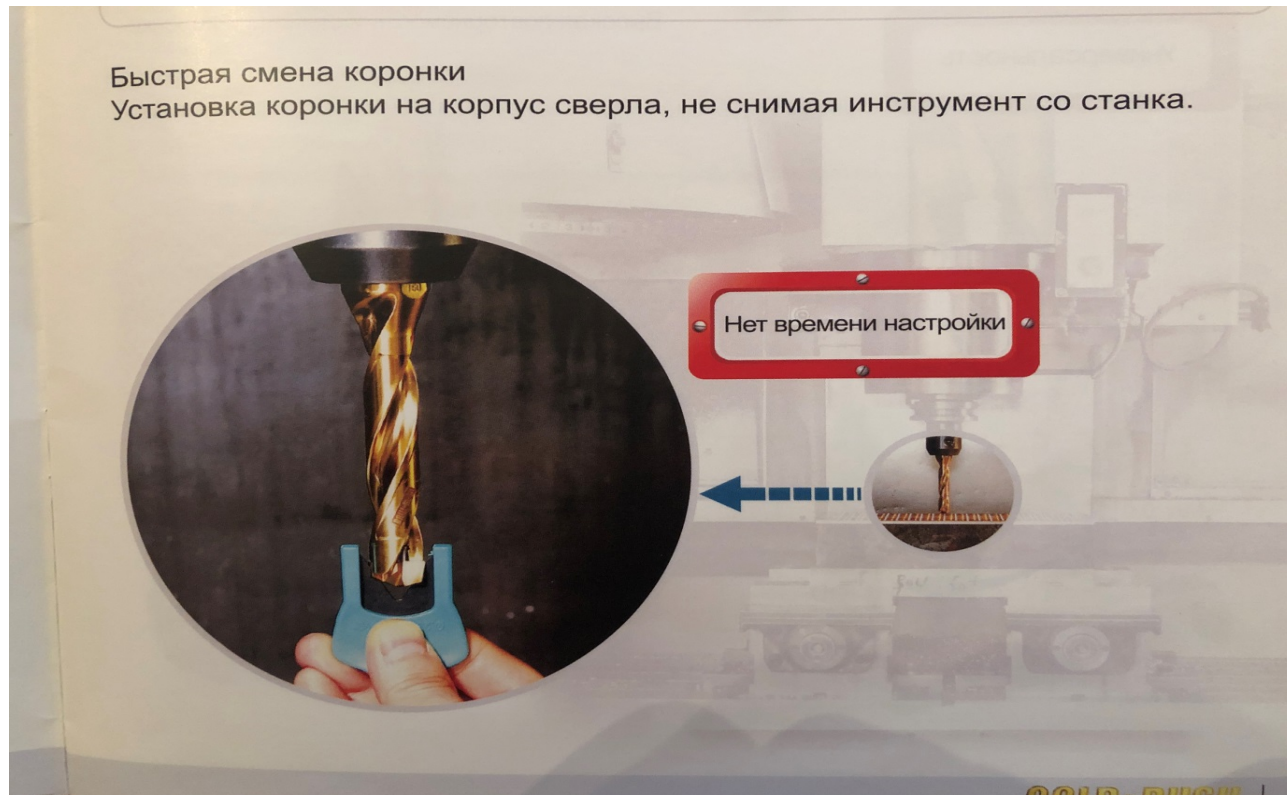


Рис. 4.2. Заміна коронки без зняття свердла із верстата



Рис. 4.3 Свердло для зняття фаски

Свердло для зняття фаски має наступні переваги:

- економічне стандартне рішення для заміни дорогих спеціальних інструментів;
- мінімальний час циклу та підвищення економії;
- дві стандартні пластини достатні для більшого виробництва;
- легко регулюєма довжина кроку в залежності від розміру отвору

#### **Твердосплавні інструменти:**

Головка для суцільного свердління, зі змінними різальними та направляючими частинами

Діапазон свердління забезпечується в межах від 75,00 до 149,99 мм





Рис. 4.4. Твердосплавний інструмент типу 42 ( фірма «brotek»)

Переваги:

- нові стружколоми для високих подач та забезпечення високої продуктивності;
- відсутність ругуляційних робіт при заміні комплектуючих;
- діапазон регулювання за допомогою змінних елементів до 5 мм;
- мінімальні відведення осі отворів на великих глибинах свердління





Рис. 4.5. Комплектуючі збірного інструменту

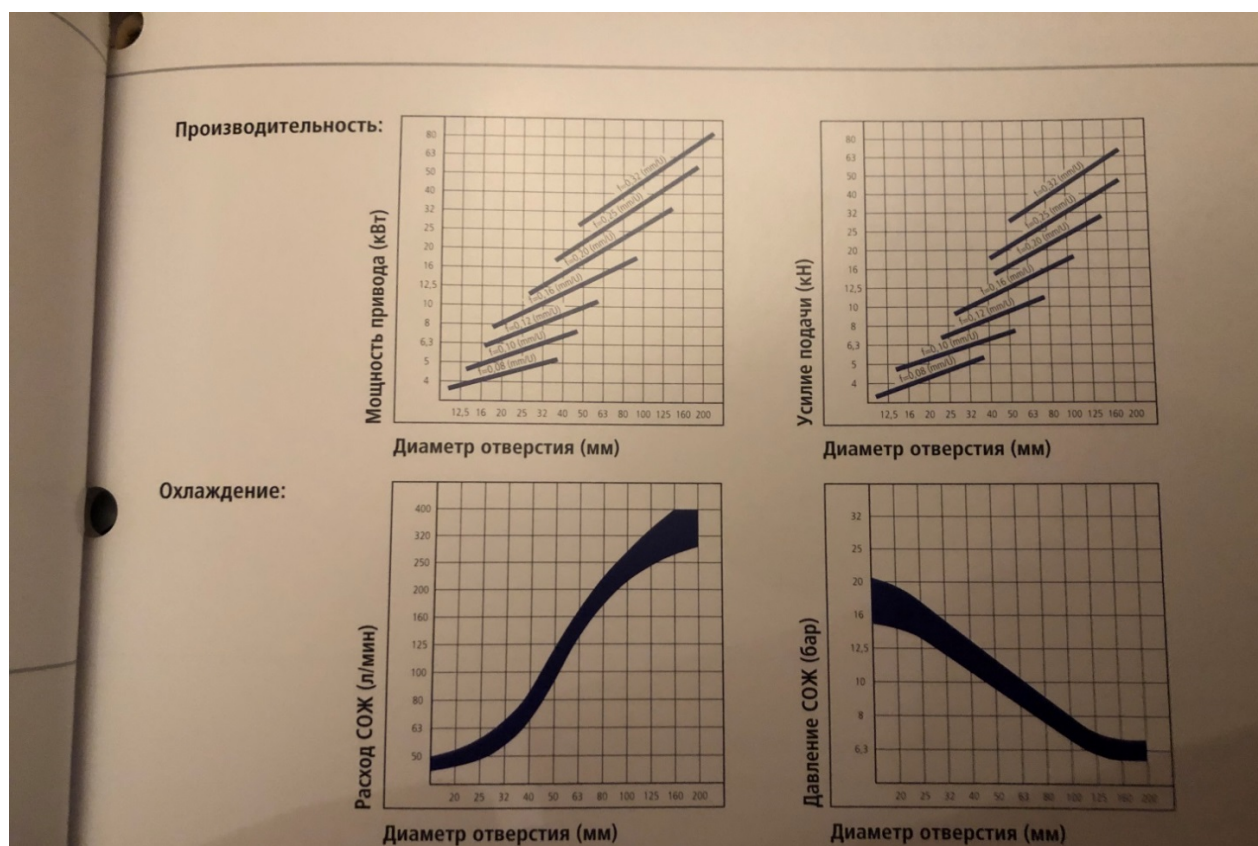


Рис. 4.6. Графіки продуктивності та охолодження

## Трьохперове твердосплавне свердло з подачею ЗОР через інструмент

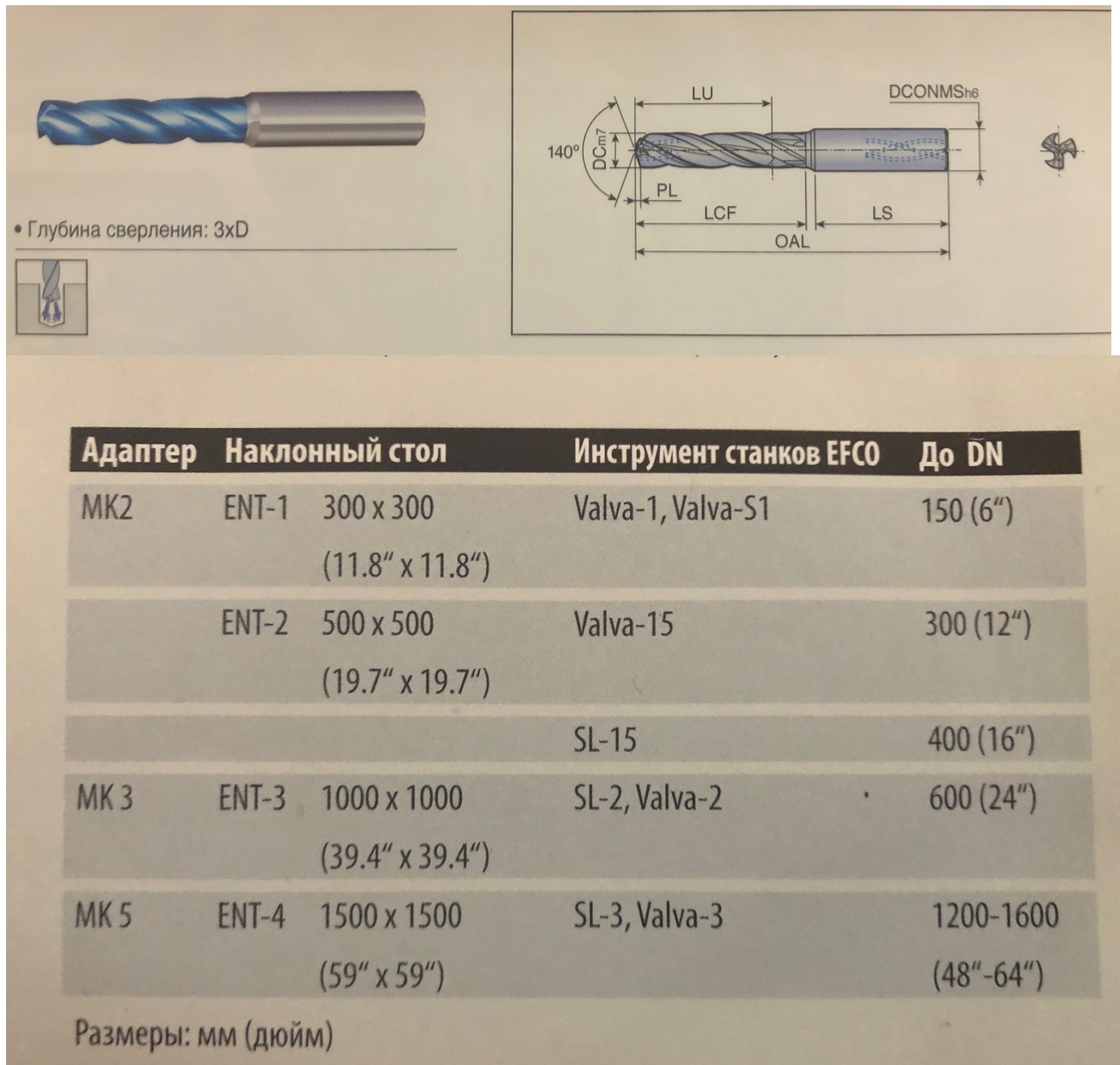


Рис. 4.7. Трьохперове свердло його характеристики (фірма «ТаегуТес»)

## **5.Конструктивні особливості вимірювальних щупів та датчиків лінійного переміщення HEIDENHAIN для верстатів з ЧПК**

Фірма HEIDENHAIN – розробляє технології вимірювання та контролю для завдань, що вимагають позиціонування. Провідний виробник по проектуванню та виготовленню точного вимірювального та контрольного обладнання. Найвища технологія використовується у високоточних двигунах, системах керування та оброблювання в усьому світі. Маючи понад сторічний досвід у галузі точного вимірювання, HEIDENHAIN сьогодні встановлює майбутні стандарти точності зворотного зв'язку на верстатах з ЧПК. Основні галузі використання-металооброблювання, верстати, напівпровідники та електроніка, двигуни приводу, загальна автоматизація та медичне обслуговування. Взагалі можуть бути корисними в будь-якому місці, де потрібне високоточне вимірювання, надійність та контроль руху.

Забезпечення високої точності виготовлення деталей на верстатах з ЧПК вимагає постійного контролю від установки заготовки до зняття готової деталі, що в значній мірі реалізується за допомогою вимірювальних щупів. Вони допомагають зменшити час на установку заготовки, забезпечують точне визначення розмірів інструменту та його періодичний контроль, виключають можливість браку внаслідок поломки інструментів і подовжують терміни експлуатації верстатів, підвищують точність деталей та стабілізують якісні характеристики оброблених поверхонь.

Фірма HEIDENHAIN займає провідні позиції на ринку по розробці, виготовленню та впровадженню вимірювальних щупів різних конструкцій та призначення.

Для вимірювання заготовок безпосередньо на верстаті пропонуються 3D-щупи серії TS. В затискний патрон вони вставляються вручну або автоматично. Доторкнувшись до заготовки вимірювальний стержень відхиляється в сторону і



щуп створює комутативний сигнал, який через інфрачервоний передавач або по кабелю передається в систему ЧПК. Система ЧПК в цей момент зберігає фактичне положення вісі вимірювального приладу і оброблює отриманий сигнал. Сигнал комутації в щупах TS 2xx, TS 44x та TS 640 створюється оптичним сенсором (чутливим елементом), що працює без зносу і забезпечує таким чином високу надійність та стабільність їх роботи. Світловий пучок, що створюється світлодіодом LED, фокусується системою лінз в точку на диференціальному фотоелементі. При відхиленні вимірювального стержня диференціальний фотоелемент генерує комутаційний сигнал. Вимірювальний стержень жорстко з'єднується з перемикачем, який закріплений на корпусі в трьох точках і забезпечує надійне орієнтування.

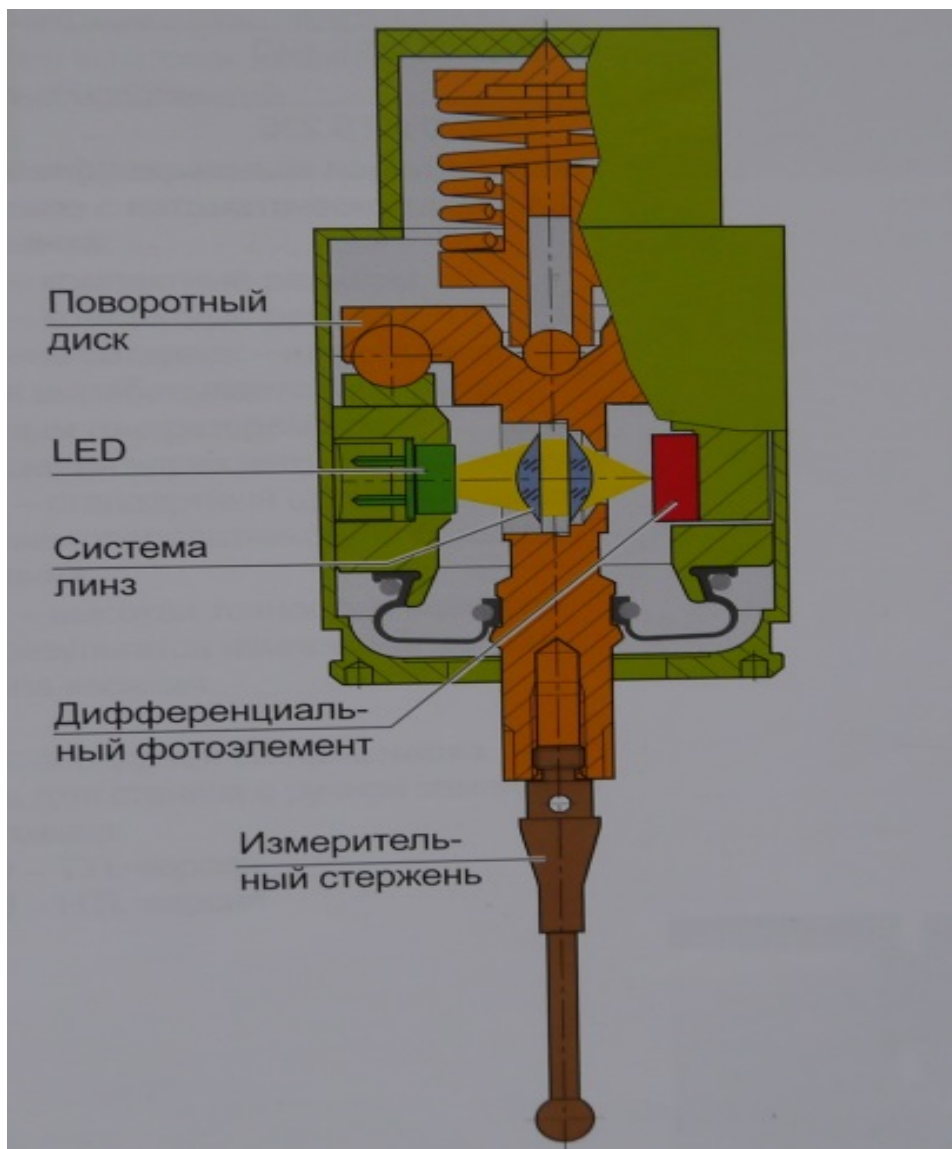


Рис. 5.1. Принципова схема безконтактного оптичного сенсора

Щуп TS 740 використовує прецизійний датчик тиску. Комутаційний сигнал генерується шляхом аналізу діючої сили. Відхилення сили, що діє на датчики тиску при ошупуванні заготовки, оброблюються і генерується комутаційний сигнал. Цей спосіб дозволяє виконувати вимірювання в діапазоні 360°.

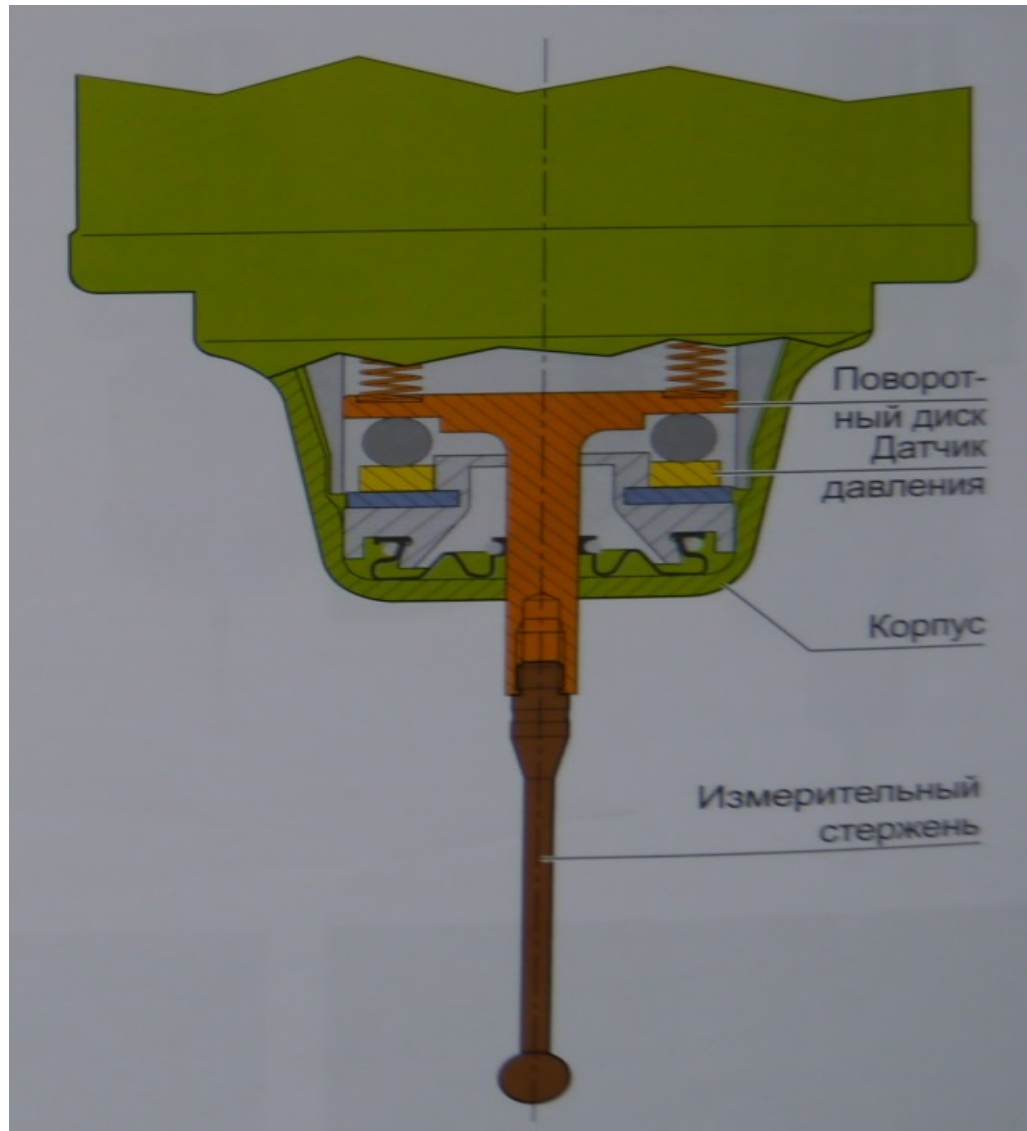


Рис. 5.2. Принципова схема датчика тиску в щупах

Відхилення вимірювального стержня щупа TS 740 визначається як середнє між показаннями кількох датчиків тиску, що розташовані між поворотним диском та корпусом датчика. Завдяки невеликим силам, що діють при вимірюванні, можлива висока точність ( $\pm 5\text{мкм}$ ) і повторюваність

результатів вимірювань. Під повторюваністю розуміють похибку, що виникає при багаторазових вимірюваннях зразка в однакових умовах.

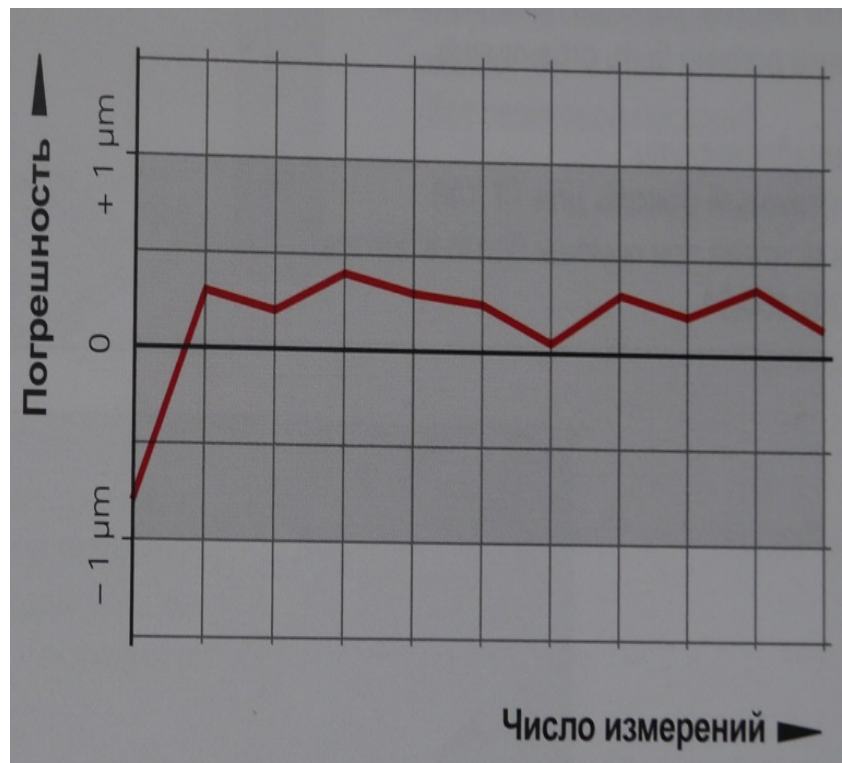


Рис. 5.3. Типова діаграма повторюваності результатів вимірювань 3D-щупа TS 2xx

Визначення геометрії деталі або її положення за допомогою вимірювального щупа виконується шляхом механічного ощупування. При цьому щуп повинен бути чистим, щоб уникнути помилок при вимірюванні. Тому вимірювальні щупи з інфрачервоним передавачем оснащуються системою обдування стисненим повітрям або змащувально-охолоджувальною рідиною через три отвори в нижній частині щупа, що дозволяє видаляти частки бруду з вимірюваної поверхні і елементи стружки. Така система дозволяє повністю автоматизувати виробничий процес. На верстаті повинно бути передбачене підведення стисненого повітря або ЗОР.

Необхідно враховувати також, що надійність вимірювань залежить від швидкості передачі сигналу та величини максимального відхилення вимірювального стержня. Допустима швидкість ощупування задається в

технічних характеристиках щупа а максимальне допустиме відхилення складає 5мм в кожному напрямку.

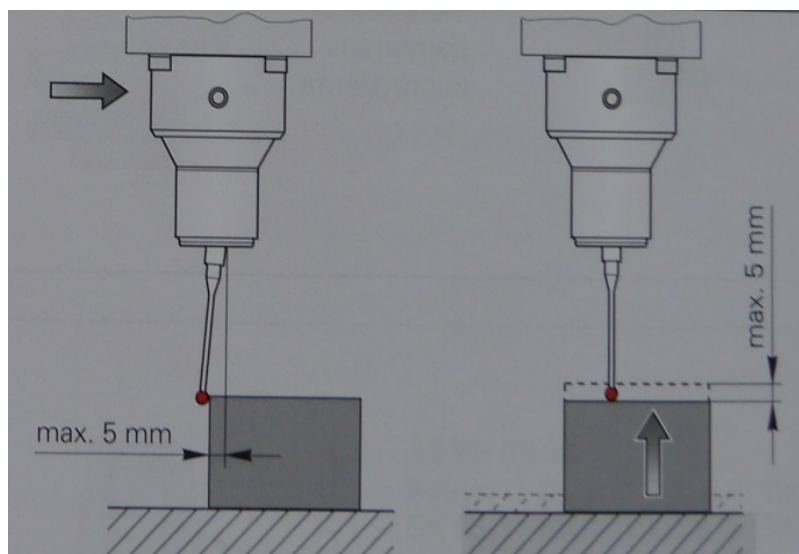


Рис. 5.4. Граничні відхилення вимірювального щупа

Точність вимірювання в значній мірі залежить і від конструкції вимірювальних стержнів. Для щупів TS фірмою розроблені вимірювальні стержні довжиною від 21мм до 40мм з рубіновими кульками діаметром від 1мм до 8мм. Усі вимірювальні стержні з'єднуються зі щупом різьбою, а стержні з діаметром кульки більше 4мм мають точку надламування для захисту щупа від пошкодження. Також передбачені подовжувачі для вимірювань глибоких порожнин.



Рис. 5.5. Вимірювальні стержні з рубіновими кульками.

При використанні вимірювального щупа точне розташування заготовки вздовж осей верстата не обов'язкове. Він визначає відхилення при оштупуванні заготовки а система ЧПК компенсує це відхилення обертанням координатних осей або обертанням поворотного столу.

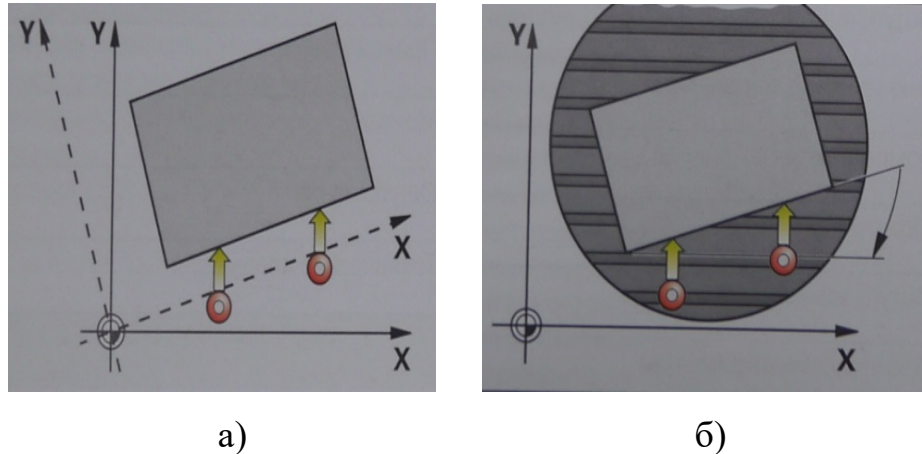


Рис. 5.6. Компенсація відхилення заготовки від напрямку координатних осей: а – обертанням координатних осей; б – обертанням поворотного столу

Програми оброблювання на верстатах з ЧПК прив'язуються до опорних точок, положення яких швидко і точно визначаються за допомогою вимірювального щупа, що суттєво економить час і підвищує точність оброблювання. Можливе і автоматичне визначення опорної точки в залежності від циклів вимірювання ЧПК.

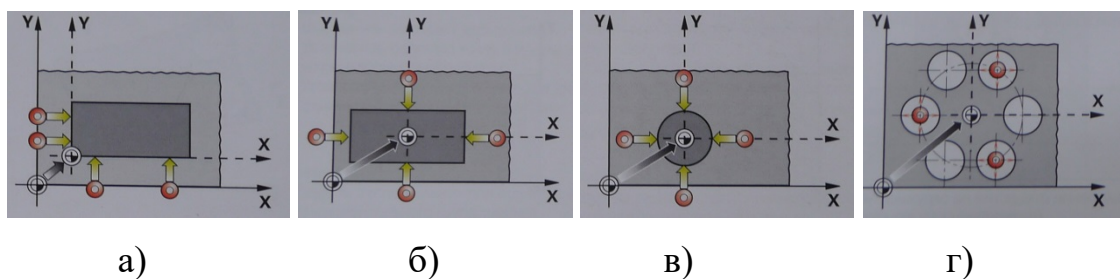


Рис. 5.7. Визначення опорних точок для за допомогою вимірювального щупа: а – зовнішній кут; б – центр прямокутної заготовки; в – центр циліндричної заготовки; г – центр отворів, виконаних по колу

3D-щупи TS дозволяють виконувати вимірювання заготовки між двома циклами оброблювання в автоматизованому режимі, використовуючи результати вимірювань для компенсації зносу інструменту.



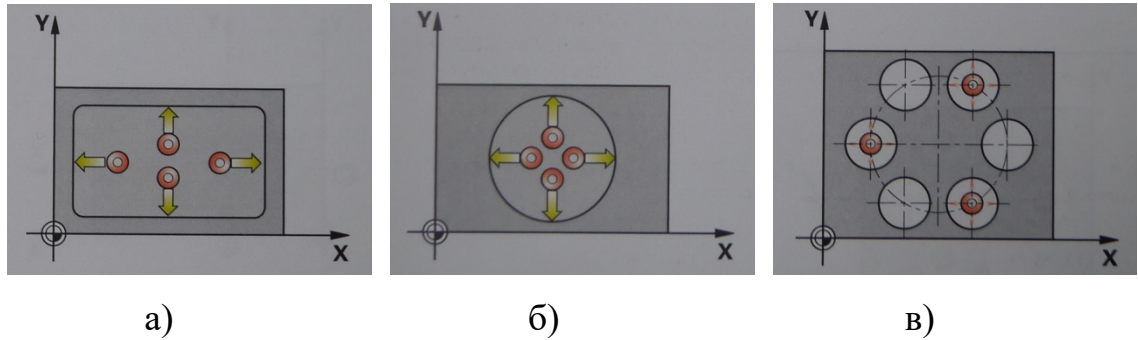


Рис. 5.8. Приклади вимірювання розмірів заготовок на верстаті:  
а –прямокутної кишені; б – круглої кишені; в – отворів по колу

Проведений аналіз конструктивних особливостей, оснащення та умов використання вимірювальних щупів на верстатах з ЧПК, на прикладі розробок фірми HEIDENHAIN визначив необхідність їх використання на нашому верстаті для забезпечення високої точності та повторюваності результатів оброблювання в промислових умовах.

## 5.1 Аналіз методів вимірювання та точності лінійних датчиків фірми HEIDENHAIN

Точність металорізальних верстатів з ЧПК в значній мірі визначається методами вимірювання лінійних та кутових переміщень виконавчих органів.

На теперішній день в промисловості широко використовуються датчики переміщень фірми HEIDENHAIN завдяки їх високій точності, надійності та довговічності, що забезпечується конструкцією та методами вимірювання.

Точність вимірювання довжини визначають наступні параметри:

- точність штрихів шкали;
- якість зчитування сигналу;
- якість обробки сигналу;
- похибки взаємного розташування зчитувальної головки та шкали.

Точність штрихів шкали визначається методами їх виготовлення. Датчики фірми HEIDENHAIN використовують прецизійні шкали з поділками у вигляді штрихової сітки з періодом від 0,25мкм до 10мкм. Поділки наносяться спеціальним методом, що забезпечує кінцеву точність вимірювальних приладів.

Більшість приладів фірми HEIDENHAIN використовують фотоелектричний спосіб зчитування, який реалізується без контакту і виключає зношування робочих елементів. Цей спосіб дозволяє розпізнавати штрихи шириною в декілька мікрометрів та генерувати сигнали з дуже малим періодом. Використовуються два методи зчитування: метод відображення для періодів штрихів шкали від 20мкм до 40мкм та інтерферентний метод для дуже малих періодів штрихів.

**Метод відображення** в спрощеному вигляді – це генерація сигналу на основі значень світло-тінь..

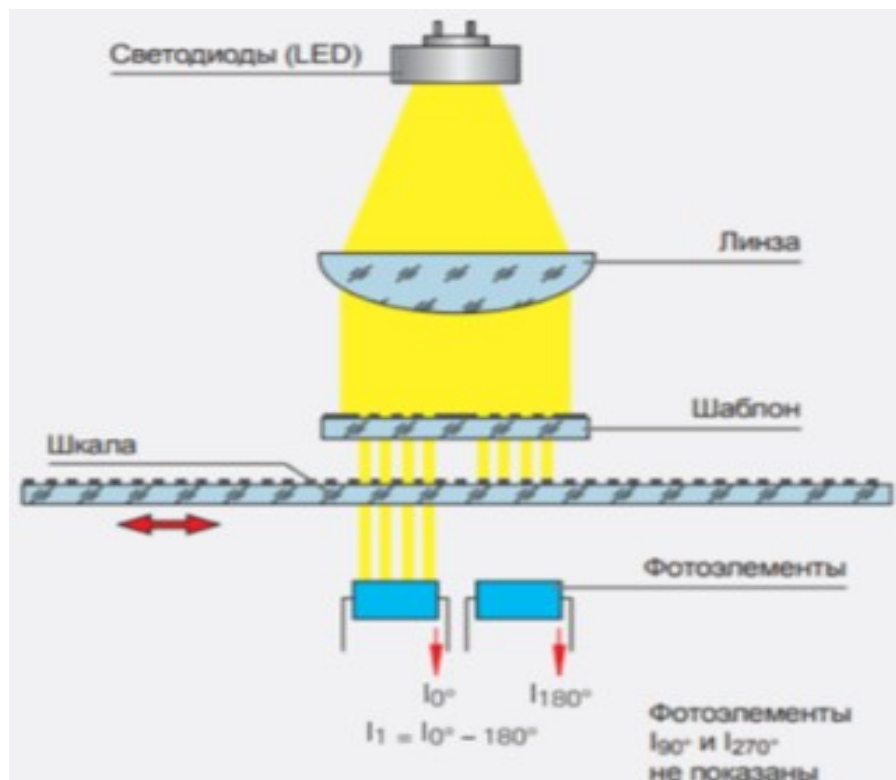


Рис.5.1.1. Схематичне зображення зчитування методом відображення

Дві шкали із штрихами одного або схожого періоду (шкала і шаблон) рухаються одна відносно іншої. Носій штрихів шаблону виготовляється із прозорого матеріалу, а носій самої шкали також може бути прозорим або мати металічну рефлектувальну поверхню

Після проходження паралельних променів світла від світлодіодів через фокусуючи лінзу і шаблон створюється відповідна світло-тіньова послідовність. Потім промені, що пройшли через шаблон, попадають на шкалу. При переміщенні шаблону вздовж шкали штрихи на шаблоні можуть співпадати зі штрихами на шкалі, створюючи на виході в місцях просвітів «світло». Якщо ж штрихи накладаються на просвіти, то на виході створюється тінь. Ряд фотоелементів перетворює цей світловий сигнал в електричний. Штрихи на шаблоні структуровані спеціальним методом завдяки чому вони фільтрують світловий потік таким чином, щоб він наближався до синусоїдальної форми.

Чим менша відстань між штрихами тим меншою і точнішою повинна бути відстань між шкалою та зчитувальним елементом.

На методі відображення працюють датчики лінійних переміщень LC, LS та LB.

**Інтерферентний метод** зчитування заснований на дифракції та інтерференції світла при проходженні його крізь прецизійні штрихи. Із отриманого сигналу розраховують величину переміщення.

Шкалою слугує дифракційна ступінчаста решітка, яка виготовляється нанесенням рефлектуючих штрихів висотою 0,2мкм на рефлектуючу поверхню.

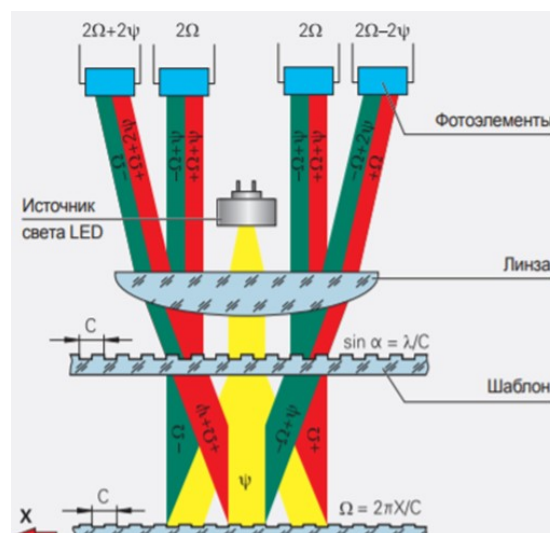


Рис. 5.1.2. Оптична схема інтерферентного методу зчитування (C – період шкали;  $\psi$  - зміщення фази світлової хвилі при проходженні через шаблон;

$\Omega$  – зміщення фази світлової хвилі при переміщенні шкали вздовж вісі)

При попаданні світлової хвилі на шаблон вона розділяється на три хвилі: 1; 0 та -1 порядків з відносно однаковою інтенсивністю. Від шкали з фазовою решіткою вони відбиваються таким чином, що найбільша інтенсивність у хвиль 1 та -1 порядків. Ці хвилі знову зустрічаються на шаблоні та, накладаючись одна на іншу, огинають його штрихи. При цьому створюються дві групи хвиль, які покидають шаблон під різними кутами. Фотоелементи перетворюють інтенсивність хвиль в електричний сигнал.

При переміщенні шаблону відносно шкали на один період фронт хвилі першого порядку зміщується на одну довжину хвилі в плюс, а фронт хвилі -1 порядку на одну довжину хвилі в мінус. Оскільки ці дві хвилі інтерферують після шаблону, то їх зміщення досягає двох довжин хвиль. Таким чином отримують два періоди сигналу при одному відносному зміщенні на один період.

Прилади з інтерферентним методом зчитування працюють найчастіше зі шкалами, період яких складає 8мкм та 4мкм.

Датчики лінійного переміщення, що використовують інтерферентний метод, позначаються LF.



Рис.5.1.3 Датчики лінійних переміщень закритого типу фірми  
HEIDENHAIN

**При визначенні** точності вимірювання розрізняють похибку шкали, що віднесена до всієї довжини шкали та похибку, що віднесена до одного періоду сигналу.

Похибка вимірювання, що віднесена до всієї довжини шкали використовується при визначенні точності лінійних датчиків закритого типу, яка задається в класах. Вони мають наступне визначення: Граничні значення  $\pm F$  кривої похибки вимірювань для будь-якого шляху вимірювання (максимум 1м) знаходиться в межах класу точності  $\pm a$ .



Рис. 5.1.4. Похибка вимірювання  $a$ , що віднесена до всієї довжини шкали

В закритих лінійних датчиках ці величини задаються для всієї вимірювальної системи, що включає і зчитувальну головку, Вони називаються точністю системи і визначаються при заключному контролі датчика та заносяться в протокол вимірювань.

Похибка вимірювання, що віднесена до одного періоду сигналу, визначається як величиною періоду шкали так і якістю штрихів та засобів зчитування. В будь-якій точці вимірювання вона не перевищує  $\pm 2\%$ , а для датчиків лінійних переміщень LC та LS не перевищує  $\pm 1\%$ .

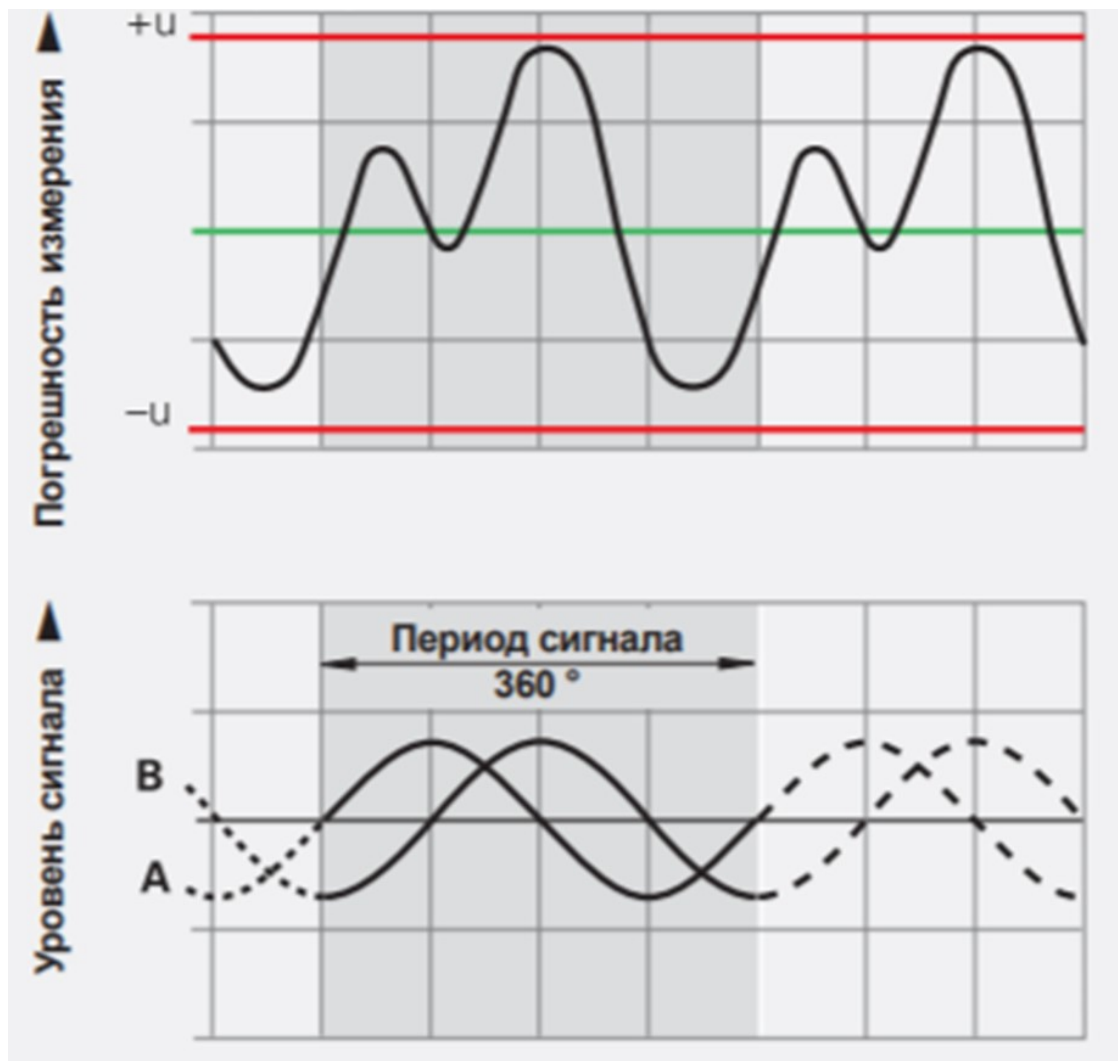


Рис. 5.1.5. Похибка вимірювання  $U$ , що віднесена до одного періоду сигналу

Похибка вимірювання зменшується зі зменшенням періоду сигналу шкали. Так для датчиків LF з періодом сигналу 4мкм вона складає  $\pm 0,08$ мкм, для датчиків LC та LS з періодом сигналу 20мкм –  $\pm 0,2$ мкм, а для датчиків LB з періодом сигналу 40мкм –  $\pm 0,8$ мкм.

Перевірка лінійних датчиків переміщення виконується при нормальній температурі  $\pm 20^\circ$ . Обов'язково вказується діапазон температур, при яких датчик зберігає точність вимірювання.

## 6. Кінематичний розрахунок верстата

Головний рух – це обертання шпинделя навколо осі Z. Його забезпечує електродвигун постійного струму 1 через коробку швидкостей.

Кількість діапазонів частот обертання - 2: перший -  $R_{n1} = 16 \dots 460 \text{ хв}^{-1}$  та другий діапазон -  $R_{n2} = 460 \dots 3000 \text{ хв}^{-1}$ . Регулювання частоти обертання виконується безступінчасто.

$$n_{\text{ШП I}} = n_{\text{ЕЛ/ДВ}} \cdot \frac{z_{44}}{z_{94}} \cdot \frac{z_{34}}{z_{120}} = n_{\text{ЕЛ/ДВ}} \cdot 0,1326$$

$$N_{\text{ШП II}} = n_{\text{ЕЛ/ДВ}} \cdot \frac{z_{44}}{z_{94}} \cdot \frac{z_{94}}{z_{60}} = n_{\text{ЕЛ/ДВ}} \cdot 0,7333$$

Загальний діапазон регулювання головного приводу:

$$R = \frac{3000}{16} = 187,5;$$

Забезпечується коробкою швидкостей

$$R_{\text{КС}} = \frac{3000}{460} = 6,52$$

та електродвигуном

$$R_{\text{ЕЛ.ДВ}} = \frac{R}{R_{\text{КС}}} = \frac{187,5}{6,52} = 28,75$$

Перемикання діапазонів виконується блоком зубчастієї муфти. Привод від гідроциліндра Ц1. При верхньому її положенні –  $n_1 = 16 \dots 460$ , а при нижньому -  $n_2 = (460 \dots 3000) \text{ хв}^{-1}$ .

Передбачено використання пристрою для довороту шпинделя від електродвигуна 2 за наступним кінематичним ланцюгом:

$$n_{\text{ДОВ}} = n_{\text{ЕЛ/ДВ}} \cdot \frac{z_{40}}{z_{40}}$$

Рух подачі - це вертикальне переміщення по осі Z. Виконується від електродвигуна М3 через муфту, відрегульовану на крутний момент  $M_H=80\text{Нм}$ , зубчасту передачу і гвинт-гайку ( $t_{\text{ХВ}}=10\text{мм}$ ):

$$S_{\text{ВЕРТ}} = n_{\text{ЕЛ/ДВ}} \cdot \frac{z_{16}}{z_{32}} \cdot t_{\text{ХВ}}.$$

Установче переміщення столу здійснюється по осі Y - від електродвигуна М5:

$$S_{\text{ГОР}} = n_{\text{ЕЛ/ДВ}} \cdot t_{\text{ХВ}};$$

по осі X від електродвигуна М6, через ходовий гвинт с  $t_{\text{ХВ}}$ , що дорівнює 10мм.

Обертання магазину інструментів реалізується від електродвигуна М4 через муфту з моментом обертання  $M_H = 80\text{Н} \cdot \text{м}$  та черв'ячну передачу:

$$n_{\text{МАСІ}} = n_{\text{ЕЛ/ДВ}} \cdot \frac{z_1}{z_{48}}$$

Привод для охолодження та змащування виконується від електродвигуна М7 через зубчасту передачу:

$$n = n_{\text{ЕЛ/ДВ}} \cdot \frac{z_{17}}{z_{34}}$$

Графік частот обертання верстата приведено на рис. 2.1

$$n_{\text{max}} = 3000 \text{ХВ}^{-1}$$

$$n_{\text{ном}} = 1000 \text{ХВ}^{-1}$$



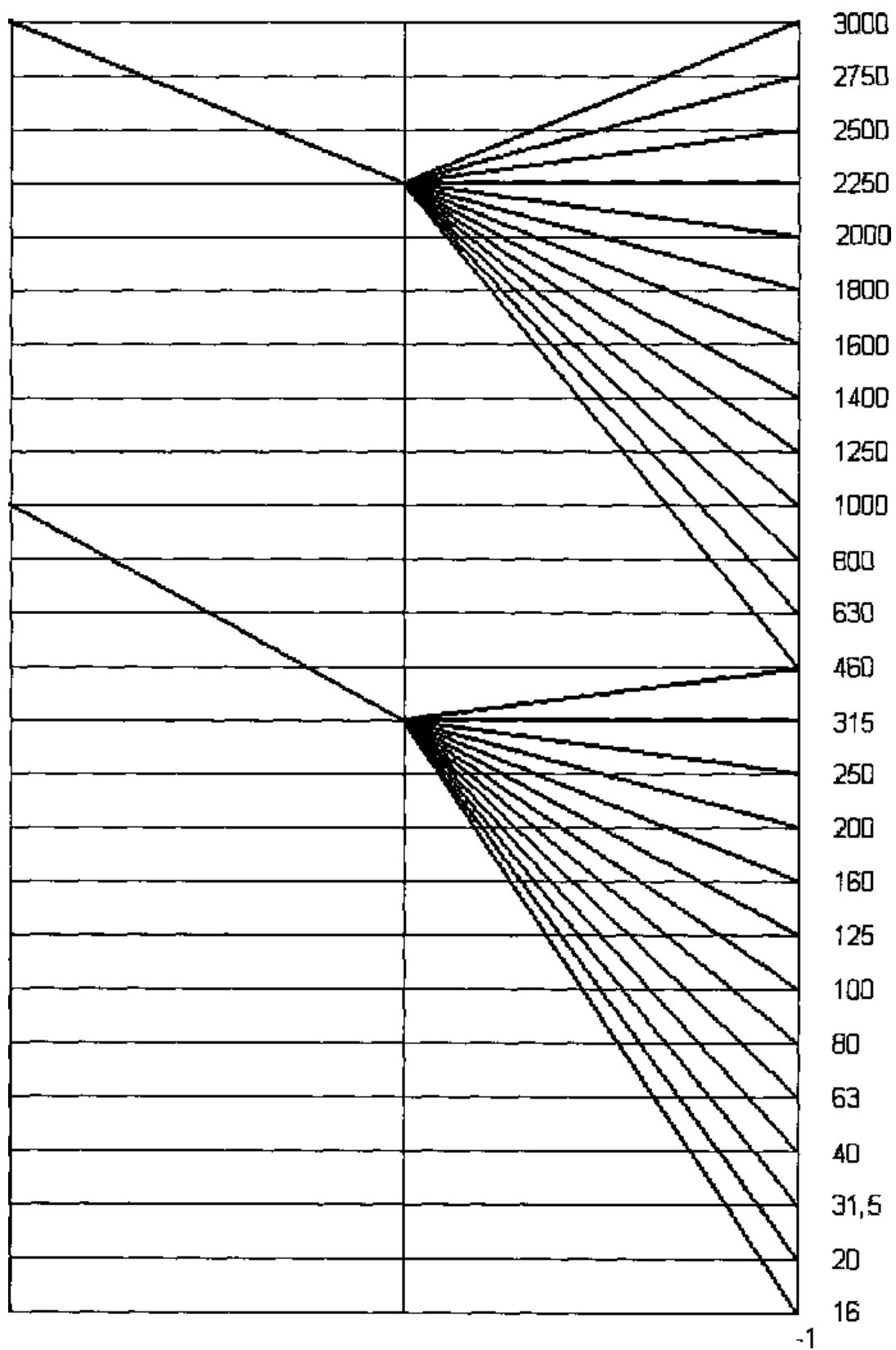


Рис. 6. Графік частот обертання шпинделя

## 7. Розрахунок режимів різання та навантажень при свердлінні

При свердлінні отвору діаметром 50мм в сталі 45 ГОСТ 1050-74 свердлом з різальною частиною, оснащеною твердим сплавом рекомендуються наступні режими:

- при свердлінні отворів діаметром більш як 30 мм бажано виконувати свердління та розвертання;
- при свердлінні глибина різання  $t = 0,5D$ ; для  $D = 50$  мм глибина  $t = 0,5 \cdot 50 = 25$ мм.
- подача для твердості  $HB = 240 \dots 300$  рекомендується  $S_0 = 0.5$  мм/об;
- оптимальна швидкість різання при свердлінні визначається за формулою:

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T_m \cdot S^y} \cdot K_V \text{ (мм/хв)}$$

де:

$$C_V = 9,8$$

$$q = 0,4$$

$$y = 0,5$$

$$m = 0,2$$

$T$  - середнє значення періоду стійкості свердла.

$$T = 45 \text{ хв.}$$

Загальний поправочний коефіцієнт  $K_V = K_{MV} \cdot K_{UV} \cdot K_{LV}$ ,

де:  $K_{MV}$  - коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу;

$K_{UV}$  - коефіцієнт, що враховує якість інструментального матеріалу;

$K_{LV}$  - коефіцієнт, що враховує глибину свердління;

$$K_{MV} = K_{\Gamma} (750/\sigma_B)^n_V$$

$$K_{\Gamma} = 1,0;$$

$$n_V = 0,9;$$

$$K_{UV} = 1,0;$$

$$K_{MV} = 1,0(750/750)^{0,9} = 0,1;$$

$$K_V = 1,0 \cdot 0,4 \cdot 1,0 = 0,4;$$

Швидкість різання в цьому випадку дорівнює:

$$V = (9,8 \cdot 50^{0,4} \cdot 0,4) / (45^{0,2} \cdot 50^{0,5}) = 12,38 \text{ м/хв.}$$

4. Крутний момент та осьова сила при свердлінні визначаємо за формулами :

$$M_{KP} = 10 C_M D^Q S^Y K_P \text{ (Н·м)},$$

$$P_O = 10 C_P D^Q S^Y K_P \text{ (Н·м)},$$

де  $K_P = K_{MP}$  - коефіцієнт, що враховує конкретні умови оброблювання;

$$C_M = 0,0345;$$

$$Q = 2,0;$$

$$Y = 0,8;$$

$$C_P = 68;$$

$$Q = 1,0;$$

$$Y = 0,7;$$

$$K_{MP} = (\sigma_B / 750)^n ,$$

$$n = 0,75 / 0,75;$$

$$K_{MP} = (750 / 750)^{0,75 / 0,75} = 1,0;$$

тоді

$$M_{KP} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 50^{2,0} \cdot 0,5^{0,8} \cdot 1 = 346,6 \text{ Н·м};$$

$$P_O = 10 \cdot 68 \cdot 50^{1,0} \cdot 0,5^{0,7} \cdot 1 = 20,92 \text{ кН.}$$

5. Потужність різання визначається за формулою :

$$N_L = (M_{\text{кр}} n) / 9750 \text{ кВт},$$

де  $n$  - частота обертання інструменту

Вона дорівнює:

$$n = (1000V) / \pi D \text{ хв}^{-1};$$

$$n = (1000 \cdot 12,38) / \pi \cdot 50 = 78,86 \text{ хв}^{-1},$$

тоді необхідна потужність:

$$N_L = (346,6 - 78,86) / 9750 = 2,8 \text{ кВт}.$$

Для підвищення продуктивності оброблювання пропонуємо використовувати свердла зі змінними твердосплавними пластинками. Вони оснащені двома різальними пластинами та забезпечують підвищення продуктивності різання в 10 разів. Швидкість різання вуглецевої сталі  $V = 100 \dots 300 \text{ м / хв}$ , подача при діаметрі свердла  $d = 50 \text{ мм}$   $S_0 = 0,15 \text{ мм / об}$ , потужність  $N = 9,7 \text{ кВт}$ , тиск ЗОР  $P = 0,12 \text{ МПа}$ , витрата ЗОР  $40 \text{ л / хв}$ .

Приймаємо ККД головного приводу

$$\eta_{\text{ГП}} = 0,75$$

та визначаємо необхідну потужність електродвигуна:

$$N_{\text{ЕЛ}} = N_L / \eta_{\text{ГП}} = 9,7 / 0,75 = 12,93 \text{ кВт}.$$

Вибираємо високомоментний електродвигун постійного струму 80МРНСР, потужність якого 15 кВт.

Для роботи зі швидкістю різання  $V = 100 \text{ м / хв}$  при розрахованому діаметрі свердла  $d_{\text{MIN}}=25\text{мм}$  використовуємо максимальну частоту обертання шпинделя:

$$n_{\text{MAX}} = (1000 \cdot V_{\text{MAX}}) / (\pi \cdot d_{\text{MIN}}) \text{ хв}^{-1} ;$$
$$n_{\text{MAX}} = (1000 \cdot 100) / (\pi \cdot 25) \text{ хв}^{-1} .$$

З урахуванням конструкції головного приводу для подальших розрахунків

$$n_{\text{MAX}} = 3000 \text{ хв}^{-1}$$

що забезпечує свердління сталі зі швидкістю:

$$V = 236 \text{ м / хв}.$$

## 8. Розрахунок та удосконалення зубчастих передач головного приводу

Кінематичну схему приводу обертання шпинделя координатно-свердильного верстата представлено на рис.8.

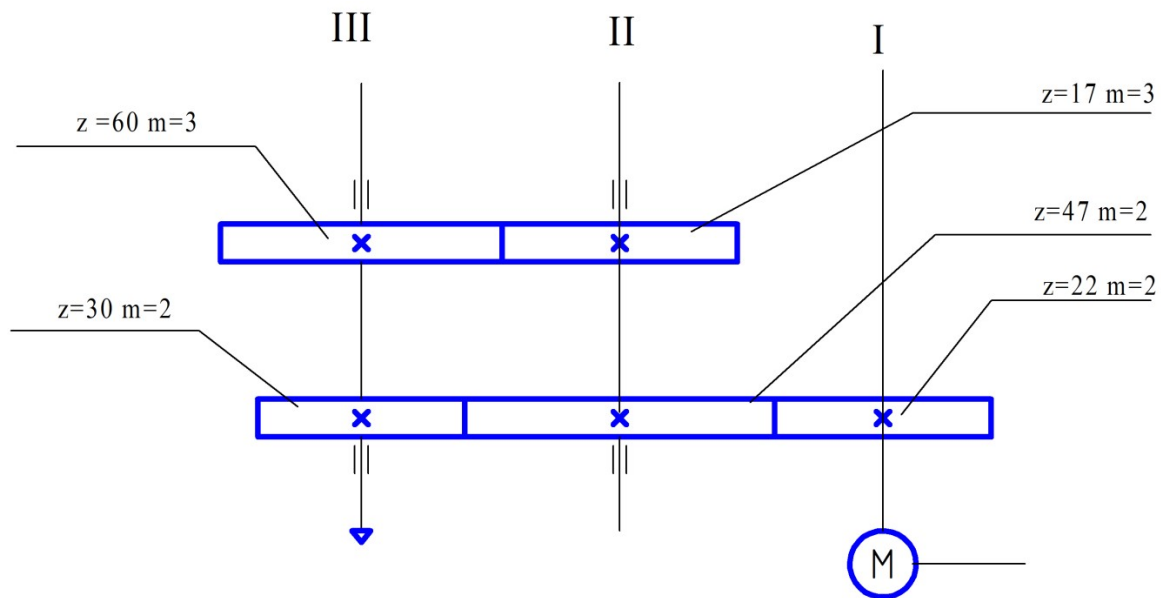


Рис. 8. Кінематична схема приводу шпинделя координатно-свердильного верстата

Вали мають наступні мінімальні частоти обертання:

$$n_I = 1000 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{II} = 468 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{III} = 132 \text{ хв}^{-1};$$

## 9. Розрахунок навантажень в зубчастих передачах верстата

Визначаємо потужність на окремих валах.

При потужності електродвигуна постійного струму в 15 кВт,

потужність на I валу складає

$$N_I = 15 \text{ кВт}$$

Потужність на інших валах розраховується за наступними формулами:

$$N_{i+1} = N_{\text{ЕЛ}} \cdot \eta_{\text{П}} \cdot \eta_{\text{ЗП}} \text{ кВт},$$

Де:  $N$  - потужність подальшого валу, кВт;

$N_{\text{ЕЛ}}$  - потужність електродвигуна в кВт;

$\eta_{\text{П}}$  - коефіцієнт корисної дії підшипників;

$\eta_{\text{ЗП}}$  - коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі.

Потужність на II валу визначаємо за формулою[1]:

$$N_{\text{II}} = N_{\text{ЕЛ}} \cdot \eta_{\text{П}} \cdot \eta_{\text{ЗП}} = 15 \cdot 0,99^2 \cdot 0,96 = 14,11 \text{ кВт};$$

$$\eta_{\text{П}} = 0,99$$

$$\eta_{\text{ЗП}} = 0,96$$

Потужність на III валу (шпинделі) визначаємо за формулою

$$N_{\text{III}} = N_{\text{ЕЛ}} \cdot \eta_{\text{П}} \cdot \eta_{\text{ЗП}} = 14,11 \cdot 0,99^2 \cdot 0,96 = 13,28 \text{ кВт};$$

Визначаємо крутні моменти на валах.

При розрахунку крутного моменту на валах приймаємо розрахункові значення частот обертання  $n_{\text{II}}$ ,  $n_{2\text{I}}$ ,  $n_3$ , рівними мінімальним частотам обертання валів  $n_{\text{I}}$ ,  $n_{\text{II}}$ ,  $n_{\text{III}}$ .

На I валу момент обертання дорівнює:

$$M_{\text{КРІ}} = (9500 \cdot N_{\text{I}}) / n_{\text{I}} \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де  $N_i$  - потужність на даному валу, кВт;

$n_i$  - мінімальна частота обертання  $i$ -того вала,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$$M_{\text{КРІ}} = (9500 \cdot 15) / 1000 = 143,25 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Крутний момент на II валу дорівнює: (при  $n_{\text{II}}$  - 468  $\text{хв}^{-1}$ )

$$M_{\text{КРІІ}} = (9500 \cdot 14,11) / 468 = 287,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Крутний момент на шпинделі дорівнює: (при  $n_{\text{III}}$  - 132  $\text{хв}^{-1}$ )

$$M_{\text{КРІІІ}} = (9500 \cdot 13,28) / 132 = 960,79 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$



## 10. Розрахунок модуля зубчастих передач

Розраховуємо потрібні модулі зубчастих передач приводу  
обертання шпинделя за формулою :

Де:  $N_p$  – передаюча потужність, кВт;

$n_1$  - частота обертання ведучого зубчатого колеса  $z_1$ ,  $\text{хв}^{-1}$

$\psi_T$ - коефіцієнт ширини колеса по модулю,

$\psi_T = 25 \dots 30$ ;

$y$  - коефіцієнт форми зуба;

$[\sigma_u]$  - допустима напруга на згин,  $\text{Н/мм}^2$

Коефіцієнт форми зуба при  $\alpha_0 = 20^\circ$ ,  $f_0 = 1$  і  $C_0 = 0,25$  :

$$y_{I-II} = 3,384;$$

$$y_{II-II} = 3,384;$$

де:  $\sigma_0, \sigma_{-1}$  = межа витривалості при пульсаційному та стаціонарному  
циклах,  $\text{Н / мм}^2$ ;

$n$  - коефіцієнт безпеки для колеса  $n = 1,5$ ; шестерні  $n = 1,8 \dots 2,0$ ;

$k_\sigma$  - коефіцієнт концентрації напруг біля ніжки зуба;

для колеса  $k_\sigma = 1,8$ ; для шестерень  $k_\sigma = 2,0$ .

Вибираємо матеріал для зубчастих коліс Сталь 40Х (поковка) та з  
термічною обробкою - поліпшення до  $\text{HB} = 700 \text{ Н/мм}^2$ .

Допустима напруга на згин в цьому випадку для колеса:

$$[\sigma_u]_{\text{кол}} = (1,6 \cdot 700) / (1,5 \cdot 1,8) = 414,8 \text{ Н/мм}^2.$$

Допустима напруга на згин для шестерень:

$$[\sigma_u]_{\text{ШЕС}} = (1,6 \cdot 700) / (1,8 \cdot 2) = 311,1 \text{ Н/мм}^2.$$

Оскільки допустиманапруга на згин для шестерень менша, ніж для коліс розрахунок проводимо за меншим значенням:

$$[\sigma_u] = 311,1 \text{ Н/мм}^2.$$

Допустиме значення напруги по контактних напруженнях розраховуємо за формулою [15]:

$$[\sigma_k] = C \cdot \text{HB} \text{ Н/мм}^2,$$

Де: C - коефіцієнт, що залежить від матеріалу та термічної обробки,

$$C = 2,6, \text{ тоді}$$

$$[\sigma_k] = 26 \cdot 270 \text{ Н/мм}^2.$$

Визначаємо модулі для зубчастих передач між валами I і II (22/47) та II -III (17/60). Модуль передачі 47/30 приймаємо рівним модулю передачі I- II (22/47), оскільки вона передає менший крутний момент.

$$m_{\text{I-II}} = 27 \sqrt[3]{\frac{15}{1000 \cdot 22 \cdot 25 \cdot 0,384 \cdot 311}} = 0,165 \text{ см} = 1,65 \text{ мм},$$

приймаємо  $m_{\text{I-II}} = 2 \text{ мм}$ .

Визначаємо  $m_{\text{II-III}}$ :

$$m_{\text{II-III}} = 27 \sqrt[3]{\frac{14,11}{468 \cdot 17 \cdot 25 \cdot 0,458 \cdot 311}} = 0,214 \text{ см} = 2,14 \text{ мм},$$

Приймаємо  $m_{\text{II-III}} = 3 \text{ мм}$

Таким чином встановлені наступні модулі пружності для зубчастих коліс:

$$22, 47, 30 \text{ m} = 2 \text{ мм}; 17, 60 \text{ m} = 3 \text{ мм}.$$

## 11. Удосконалення зубчастих передач

Зубчасті передачі вдосконалюємо за рахунок зменшення модуля ( $m$ ) та збільшення числа зубів ( $z$ ) в 2 рази.

При малих модулях зменшуються втрати на тертя, тому що зменшується ковзання, скорочуються витрати матеріалу завдяки зменшенню зовнішнього діаметру та економиться основний час нарізання зубів за рахунок зменшення обсягу зрізаного матеріалу.

Збільшенні числа зубів підвищує плавність ходу, збільшує коефіцієнт перекриття  $\zeta$

Приймаємо замість

$$Z = 17 \text{ і } 60 \text{ з модулем } m_{II-III} = 3 \text{ мм}$$

$$Z' = 34 \text{ і } 120 \text{ з модулем } m_{II-III} = 1,5 \text{ мм}$$

а замість

$$Z = 22,47 \text{ і } 30 \text{ з модулем } m_{I-II} = 2 \text{ мм}$$

$$Z' = 44,94 \text{ і } 60 \text{ з модулем } m_{I-III} = 1 \text{ мм}$$

Розраховуємо старі та нові діаметри виступів колеса за формулою [15] :

$$d_L = d_D + 2f_0 \cdot m \text{ мм,}$$

де:  $d_D$  - діаметр ділильного кола в мм;

$$f_0 = 1;$$

$m$  - модуль, мм;

$$d_L = 22 \cdot 2 + 2 \cdot 2 = 48 \text{ мм;}$$

$$d_L = 47 \cdot 2 + 2 \cdot 2 = 98 \text{ мм;}$$

$$d_L = 30 \cdot 2 + 2 \cdot 2 = 64 \text{ мм;}$$

$$d_L = 17 \cdot 3 + 2 \cdot 3 = 57 \text{ мм};$$

$$d_L = 60 \cdot 3 + 2 \cdot 3 = 186 \text{ мм};$$

нові розраховані діаметри виступів коліс:

$$d'_L = 44 \cdot 1 + 2 \cdot 1 \cdot 1 = 46 \text{ мм};$$

$$d'_L = 94 \cdot 1 + 2 \cdot 1 \cdot 1 = 96 \text{ мм};$$

$$d'_L = 60 \cdot 1 + 2 \cdot 1 \cdot 1 = 62 \text{ мм};$$

$$d'_L = 34 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5 \cdot 1 = 54 \text{ мм};$$

$$d'_L = 120 \cdot 1,5 + 2 \cdot 15 \cdot 1 = 183 \text{ мм};$$

Відповідно до найбільшого діаметру коліс при  $z = 60$   $z' = 120$

знаходимо маси заготовок та порівнюємо їх.

Масу заготовки розраховуємо за формулою:

$$m_3 = \rho \cdot V \text{ кг},$$

Де:  $V$  - об'єм заготовки,  $\text{см}^3$ ;

$\rho$  - питома маса, для сталі  $\rho = 7,8 \text{ г / см}^3$

$$V = (\pi d^2 / 4) \cdot h$$

$d$  - діаметр виступів,  $\text{см}$ ;

$h$  - висота заготовки,  $h = (6 \dots 8) \cdot m$

$$m = 7,8 \cdot (3,14 \cdot (18,6)^2) / 4 \cdot 2,4 = 5\,083,9 \text{ г} = 5 \text{ кг}$$

$$m' = 7,8 \cdot (3,14 \cdot (18,3)^2) / 4 \cdot 1,2 = 2\,460,6 \text{ г} = 2,46 \text{ кг};$$

Економія матеріалу складає 2,62 кг або це 52%.

З урахуванням результатів розрахунків на рис 11 приведена кінематична схема вдосконаленого головного приводу свердлильного верстата.

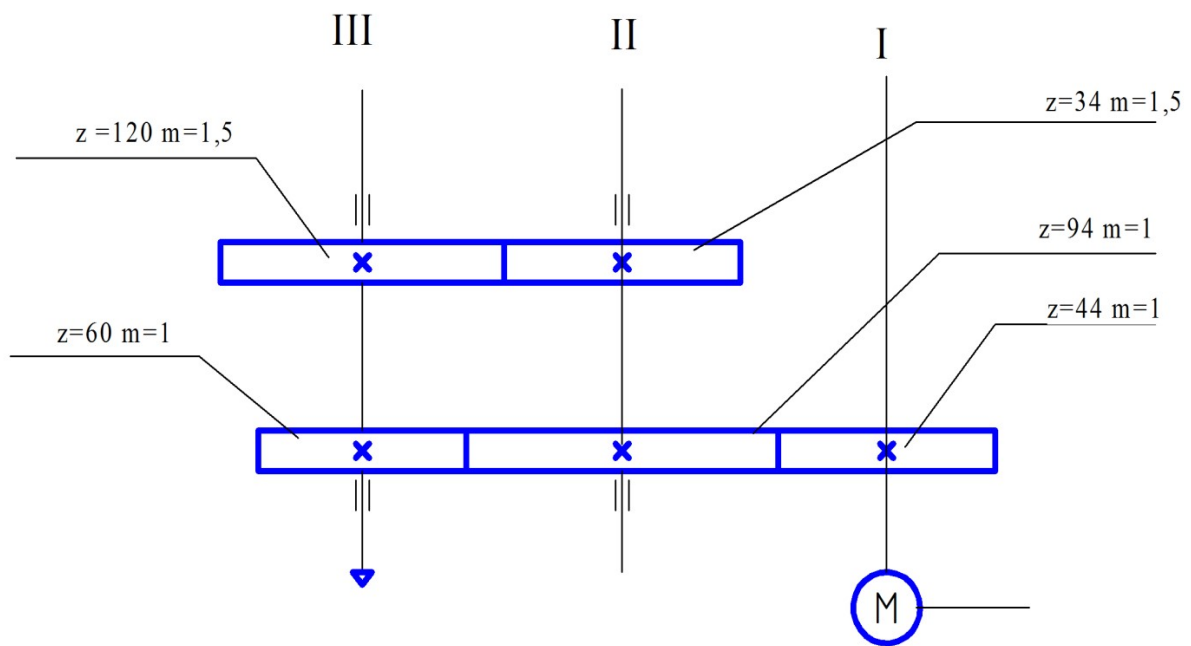


Рис. 11. Кінематична схема вдосконаленого головного приводу  
верстата

Вихідні дані і результати розрахунків зводимо в таблицю.

Таблиця 2

Параметри зубчатих передач	Одиниця виміру	Зубчаста передача між валами	
		I-II	II-III
Вихідні дані			
Потужність , що передається	кВт	15	14,11
Частота обертання	хв <sup>-1</sup>	1000	468
Крутний момент	Н·м	143,25	287,9
Коефіцієнт ширини колеса для модулю $\Psi_m$	-	25	25

Коефіцієнт форми зуба у	-	0,384	0,458
Допустимі напруги			
Розрахункова допустима напруга згину $[\sigma_u]$	Н/мм <sup>2</sup>	311	311
Розрахункова допустима контактна напруга $[\sigma_K]$	Н/мм <sup>2</sup>	702	702
Розрахунковий модуль за традиційною формулою m	Мм	1,65	214
Модуль m, що прийнятий умовно	Мм	2,0	3,0
Результати розрахунку вдосконаленої зубчастої передачі			
Прийнятий модуль m	мм	1,0	1,5
Фактичні напруги:			
Напруги згину $[\sigma_u]$	Н/мм <sup>2</sup>	216,2	209,5
Контактна напруга $[\sigma_K]$	Н/мм <sup>2</sup>	275	289
Діаметри виступів коліс	мм	44/96	54/183
Різниця мас заготовок	кг	2,62	
Коефіцієнт перекриття до модернізації		1,2390773	1,0435571
Коефіцієнт перекриття після модернізації		1,3219123	1,1241994

Визначаємо коефіцієнт перекриття  $\zeta_S$  за формулою :

$$\zeta_S = \frac{l_1 h_1' + l_2 h_2'}{t_{OS}}$$

$$\text{де : } l_1 = 0,5 \left[ \sqrt{\left( \frac{d_1}{h_1} \sin \alpha_S \right)^2 + 4 \left( \frac{d_1}{h_1} + 1 \right)} - \frac{d_1}{h_1} \sin \alpha_S \right];$$

$$l_2 = 0,5 \left[ \sqrt{\left( \frac{d_2}{h_2} \sin \alpha_S \right)^2 + 4 \left( \frac{d_2}{h_2} + 1 \right)} - \frac{d_2}{h_2} \sin \alpha_S \right];$$

$$\text{Де: } t_{OS} = 2,95 \cdot m;$$

$$d_1 = m \cdot z_1;$$

$$d_2 = m \cdot z_2;$$

$$h_1' = (f_0 + \zeta_1 - \psi) m_S;$$

$$h_2' = (f_0 + \zeta_2 - \psi) m_S;$$

$$f_0 = 1;$$

$$\psi = \zeta_S - a;$$

$$\zeta_S = \zeta_1 + \zeta_2;$$

$$a = (A - A_0) / m_S;$$

$$A = A_0 + a \cdot m_S;$$

$$A_0 = ((z_1 + z_2) / 2) m_S;$$

де:  $t_{OS}$  – осьовий крок;

$d_1, d_2$  - діаметри кіл, мм;



$h'_1, h'_2$  - висота головок зуба, мм;

$a$  - різниця міжосьових відстаней зубчастих передач до корекції

( $A_0$ ) та після ( $A$ ), що віднесена до модуля;

$m_s$  - модуль торцевої прямозубої передачі  $m_s = m$ , мм;

$z_1, z_2$  - кількість зубів колеса;

$\alpha_s$  - кут коригованого зачеплення;

$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_s$  - сумарне зміщення коліс 1, 2 і;

за формулою

$$\zeta_s = (z_1 + z_2) \frac{\text{inv} \alpha_s - \text{inv} \alpha_0}{2 \tan \alpha_0}$$

де:  $\text{inv} \alpha_0 = \text{inv} 20^\circ = \tan 20^\circ - 20^\circ$  (рад);

$\text{inv} \alpha_s = \text{inv} \alpha_0 - \alpha_0$  (рад);

$\alpha_0 = 20^\circ$  - кут нормального зачеплення.

Якщо  $\zeta_s \leq 0,5$ , то у шестерні  $\zeta_1 = \zeta_s$ , а у колеса  $\zeta_2 = 0$

Якщо  $0,5 < \zeta_s \leq 1$ , то  $\zeta_1 = 0,5$ ;  $\zeta_2 = \zeta_s - 0,5$

## 12. Розрахунок шпиндельного вузла

Використовуємо SolidWorks (Солідворкс) - програмний комплекс САПР для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Він забезпечує розробку виробів будь-якого ступеня складності та призначення. Працює в середовищі Microsoft Windows. Розроблено компанією SolidWorks Corporation, що створена з нуля Джоном Хірштіком, а з 1997 року є незалежним підрозділом компанії Dassault Systemes (Франція). Програму почали розробляти в 1993 році і вона почала продаватися в 1995 та склала конкуренцію таким продуктам, як AutoCAD та Autodesk Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS і Pro / ENGINEER. Система SolidWorks стала першою САПР, що підтримує твердотільне моделювання для платформи Windows.

За допомогою цієї програми ми моделюємо та розраховуємо шпиндельний вузол верстата.

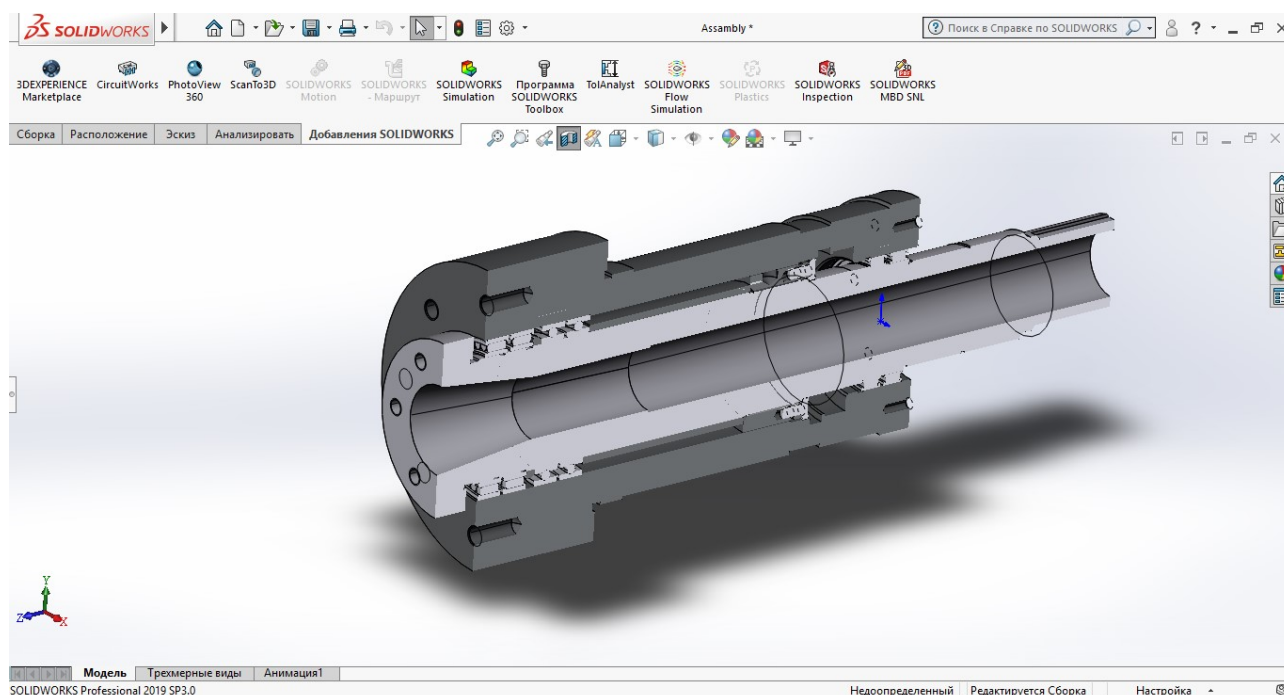


Рис. 12.1. Розріз шпиндельного вузла

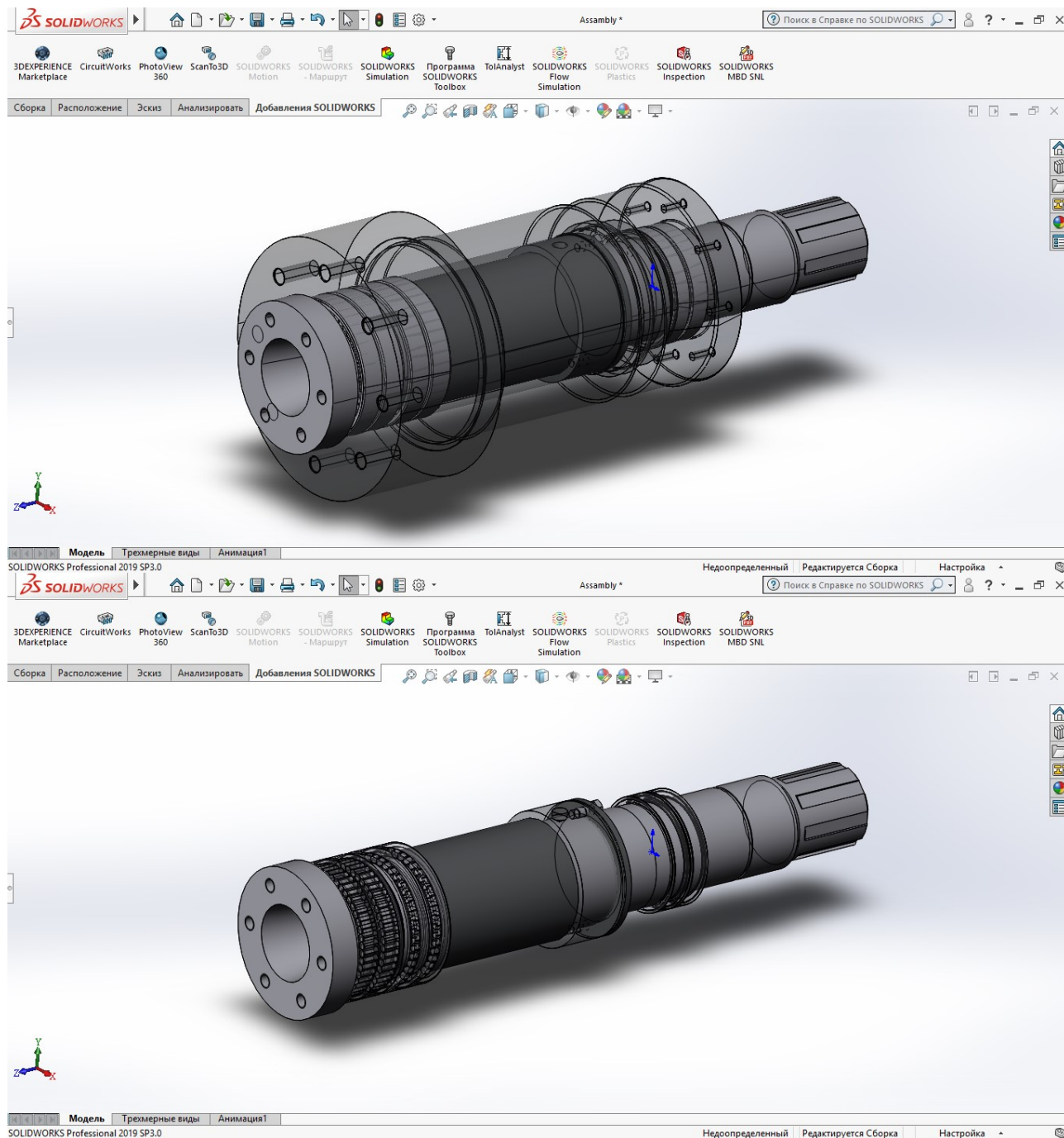


Рис. 12.2. Шпиндельный узел

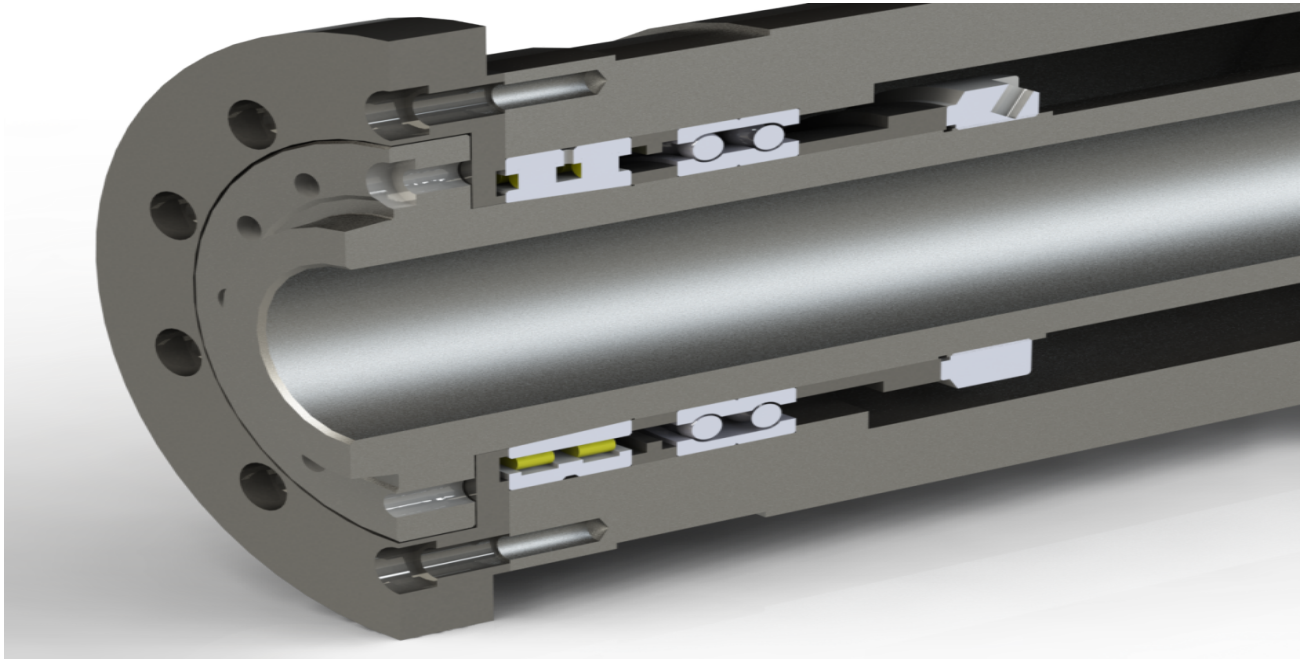
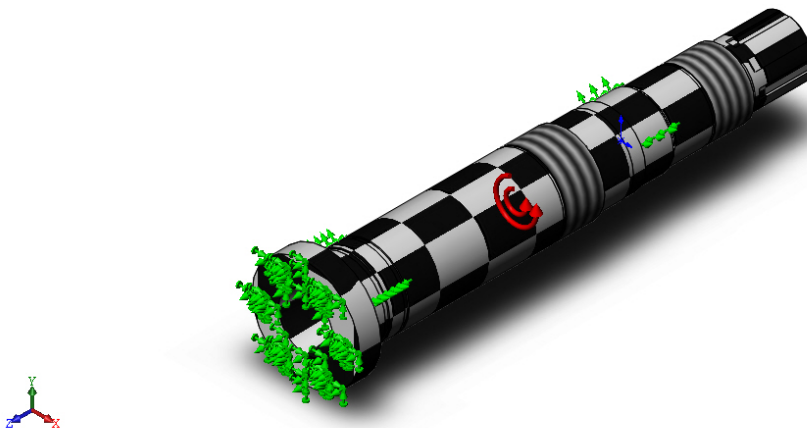


Рис. 12.3. Розріз підшипників

### Розрахунок в SOLIDWORKS



Ім'я моделі: **Shaft**

Активна конфігурація: **По замовченню**

Тверді тіла

**Твердое тело**

Масса: 16,9018 kg

Объем: 0,00216412 m<sup>3</sup>

Плотность: 7 810 kg/m<sup>3</sup>

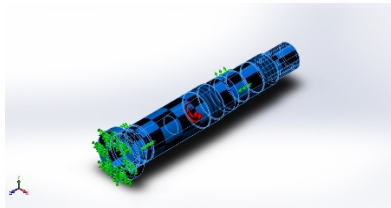
Масса: 165,638 N

Имя исследования

Статический 1  
 Тип анализа  
 Статический  
 Тип сетки  
 Сетка на твердом теле  
 Тепловой эффект:  
 Вкл  
 Термический параметр  
 Включить тепловые нагрузки  
 Температура при нулевом напряжении  
 298 Kelvin  
 Включить эффекты давления жидкости из SOLIDWORKS Flow Simulation  
 Выкл  
 Тип решающей программы  
 FFEPlus  
 Влияние нагрузок на собственные частоты:  
 Выкл  
 Мягкая пружина:  
 Выкл  
 Инерционная разгрузка:  
 Выкл  
 Несовместимые параметры связи  
 Авто  
 Большие перемещения  
 Выкл  
 Вычислить силы свободных тел  
 Вкл  
 Трение  
 Выкл  
 Использовать адаптивный метод:  
 Выкл  
 Папка результатов  
 Документ SOLIDWORKS (D:\KPI\05\_Мирік)  
 ЕДИНИЦЫ  
  
 Система единиц измерения:  
 СИ (MKS)  
 Длина/Перемещение  
 mm  
 Температура  
 Kelvin  
 Угловая скорость  
 Рад/сек  
 Давление/Напряжение  
 N/m<sup>2</sup>

## СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА

Ссылка на модель  
Свойства  
Компоненты



Имя:

**40ХФА ГОСТ 4543-71**

Тип модели:

**Линейный Упругий Изотропный**

Критерий прочности по умолчанию:

**Максимальное напряжение von Mises**

Предел текучести:

**7,3e+08 N/m<sup>2</sup>**

Предел прочности при растяжении:

**8,8e+08 N/m<sup>2</sup>**

Модуль упругости:

**2,15e+11 N/m<sup>2</sup>**

Коэффициент Пуассона:

**0,28**

Массовая плотность:

**7 810 kg/m<sup>3</sup>**

Модуль сдвига:

**8,4e+10 N/m<sup>2</sup>**

Коэффициент теплового расширения:

**1,21e-05 /Kelvin**

**Твердое тело 1(Вырез-Повернуть1)(Shaft)**

**Данные кривой:N/A**

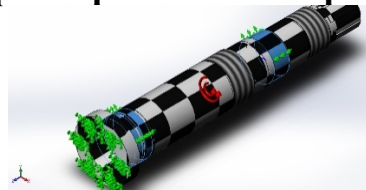
## НАГРУЗКИ И КРЕПЛЕНИЯ

Имя крепления

Изображение крепления

Данные крепления

**Зафиксированный шарнир-1**



Объекты:

**3 грани**

Тип:

## Зафиксированный шарнир

Результирующие силы

Компоненты

X

Y

Z

Результирующая

Сила реакции(N)

-0,165338

0,011361

2,2701

2,27615

Реактивный момент(N.m)

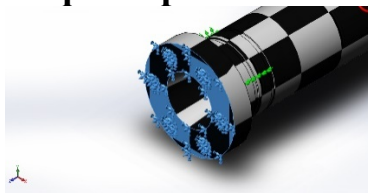
0

0

0

0

Зафиксированный-1



Объекты:

1 грани

Тип:

## Зафиксированная геометрия

Результирующие силы

Компоненты

X

Y

Z

Результирующая

Сила реакции(N)

0,116678

-0,00374678

-2,27137

2,27437

Реактивный момент(N.m)

0

0

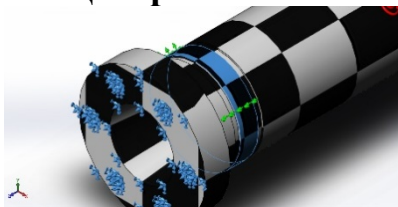
80



0

0

Имя нагрузки  
Загрузить изображение  
Загрузить данные  
**Центробежная-1**



**Грань< 1 >**

**60rad/s**

**15rad/s^2**

Центробежная, ссылка:

Угловая скорость:

Угловое ускорение:

## ИНФОРМАЦИЯ О СЕТКЕ

Тип сетки

Сетка на твердом теле

Используемое разбиение:

Стандартная сетка

Автоматическое уплотнение сетки:

Выкл

Включить автоциклы сетки:

Выкл

Точки Якобиана

4 Точки

Размер элемента

12,9375 mm

Допуск

0,646874 mm

Эпюра качества сетки

Высокая

Информация о сетке - Детализация

Всего узлов

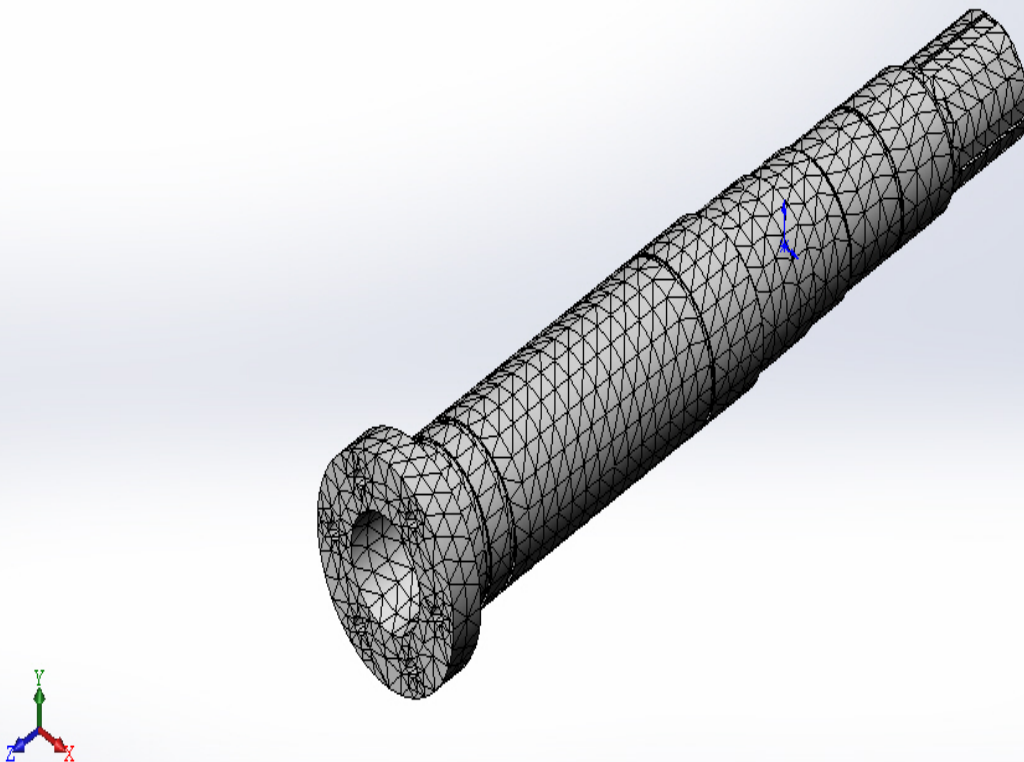
21293

Всего элементов

12406

Максимальное соотношение сторон  
23,378  
% элементов с соотношением сторон  $< 3$   
77,4  
% элементов с соотношением сторон  $> 10$   
2,75  
% искаженных элементов (Якобиан)  
0  
Время для завершения сетки (hh:mm:ss):  
00:00:03  
Имя компьютера:

Имя модели: Shaft  
Название исследования: Статический 1 (По умолчанию)  
Тип сетки: Сетка на твердом теле



## ДАННЫЕ ДАТЧИКОВ

Данные отсутствуют

## РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЕ СИЛЫ

Силы реакции

Выбранный набор

Единицы

Сумма X

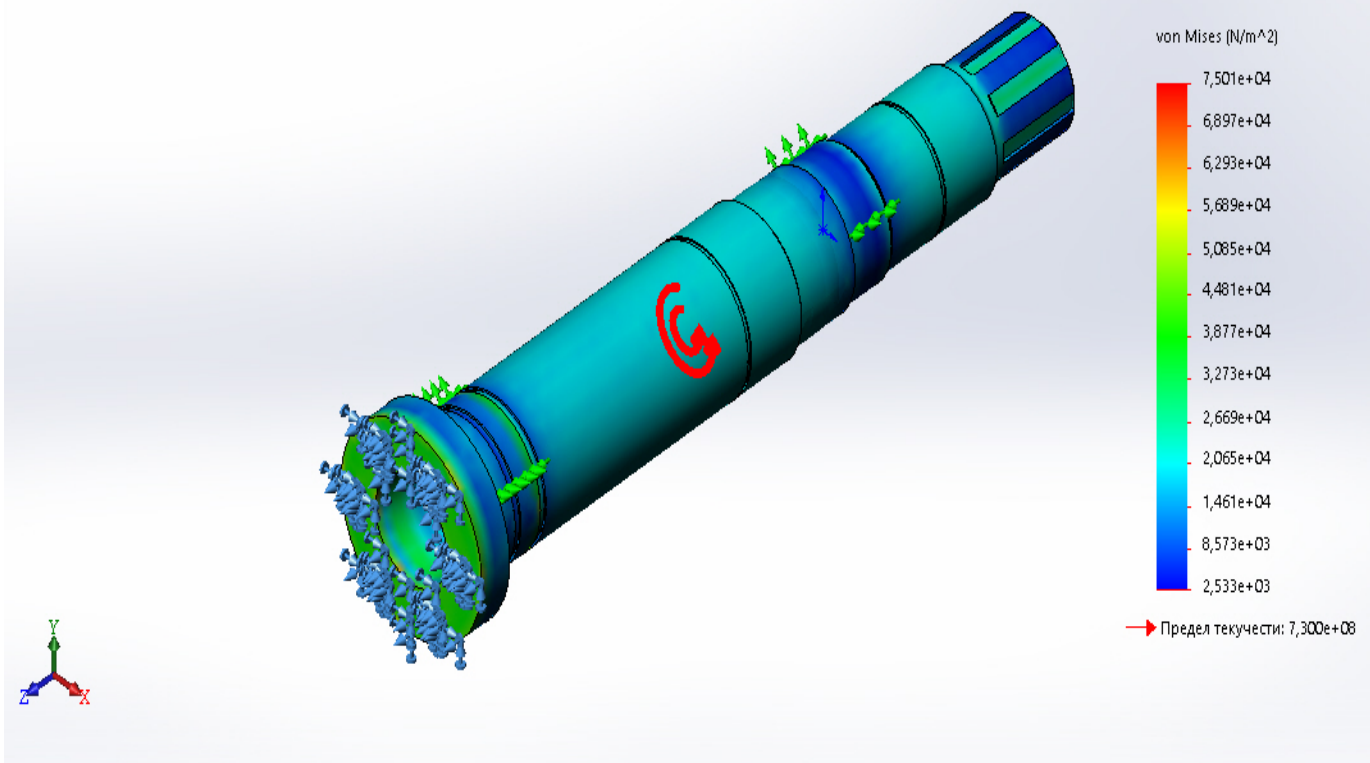
Сумма Y  
 Сумма Z  
 Результирующая  
 всей модели  
 N  
 -0,0486207  
 0,00762388  
 -0,00124782  
 0,0492306  
 Моменты реакции

Выбранный набор  
 Единицы  
 Сумма X  
 Сумма Y  
 Сумма Z  
 Результирующая  
 всей модели  
 N.m  
 0  
 0  
 0  
 0

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Имя  
 Тип  
 Мин  
 Макс  
 Напряжение1  
 VON: Напряжение Von Mises  
 2,533e+03 N/m<sup>2</sup>  
 Узел: 579  
 7,501e+04 N/m<sup>2</sup>  
 Узел: 11434

Имя модели: Shaft  
 Название исследования: Статический 1 (По умолчанию)  
 Тип эпюры: Статический узловое напряжение Напряжение1

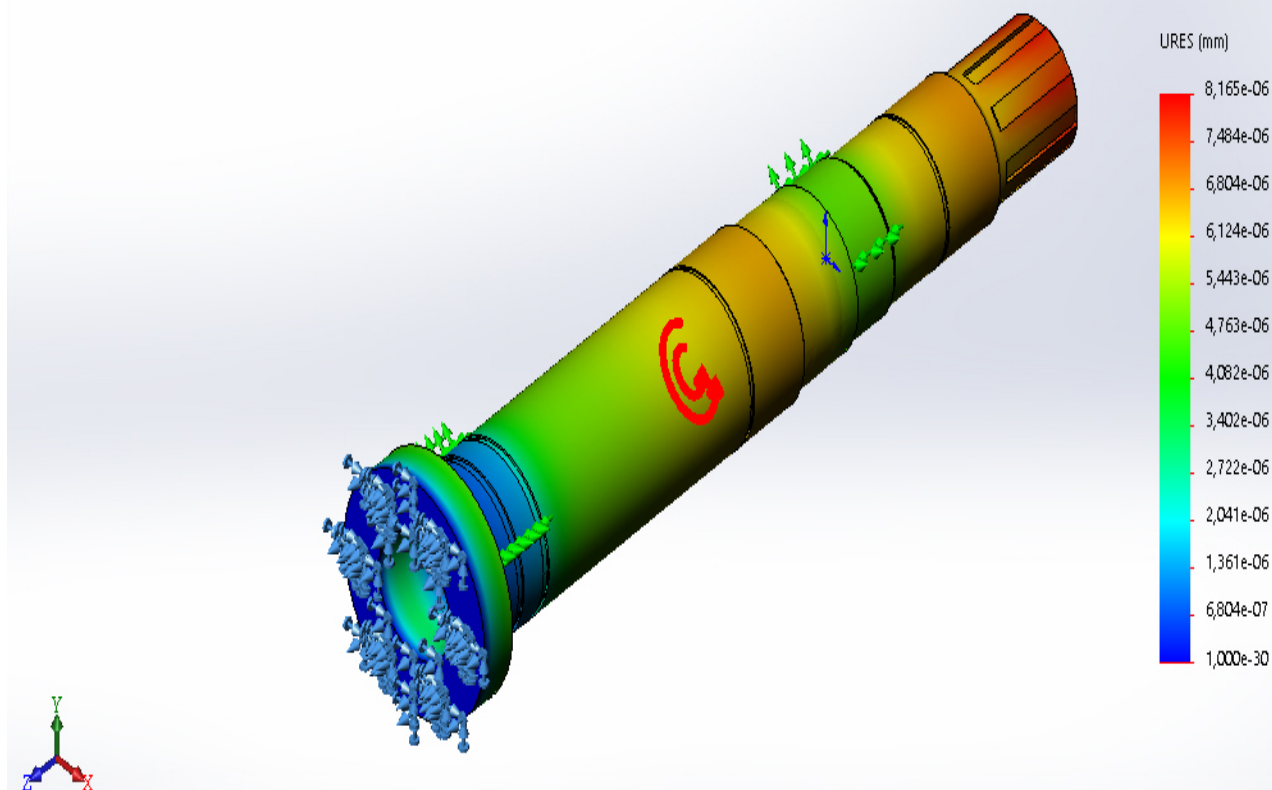


### Shaft-Статический 1-Напряжение-Напряжение1

Имя  
 Тип  
 Мин  
 Макс  
 Перемещение1  
 URES: Результирующее перемещение  
 0,000e+00 mm  
 Узел: 11  
 8,165e-06 mm  
 Узел: 16750

### Shaft-Статический 1- Перемещ

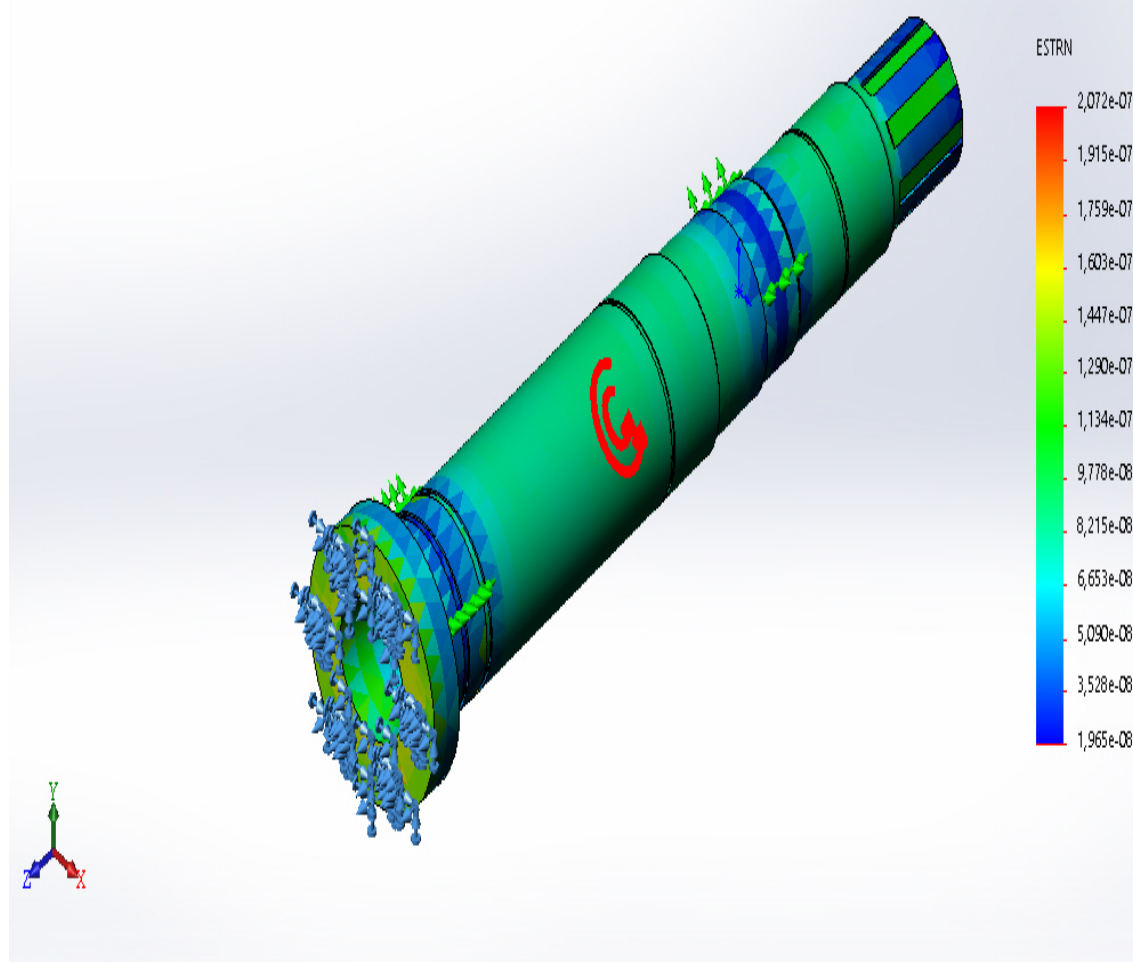
Имя модели: Shaft  
 Название исследования: Статический 1 (По умолчанию)  
 Тип эпюры: Статическое перемещение Перемещение1



ение-Перемещение1

Имя  
 Тип  
 Мин  
 Макс  
 Деформация1  
 ESTRN: Эквивалентная деформация  
 1,965e-08  
 Элемент: 7741  
 2,072e-07  
 Элемент: 7590

Имя модели: Shaft  
Название исследования: Статический 1 (-По умолчанию-)  
Тип эпюры: Статическая деформация Деформация1



**Shaft-Статический 1-Деформация-Деформация1**

### 13.Конструювання та розрахунок пристосування для обробки типової деталі

Спроекуємо пристосування для операції, на якій виконується оброблювання отвору.

Заготовка встановлюється на шліфувані поверхні стійки торцем та позбавляється трьох ступенів свободи, отвором на циліндричний палець із шпонкою – це два ступені свободи + один ступінь..

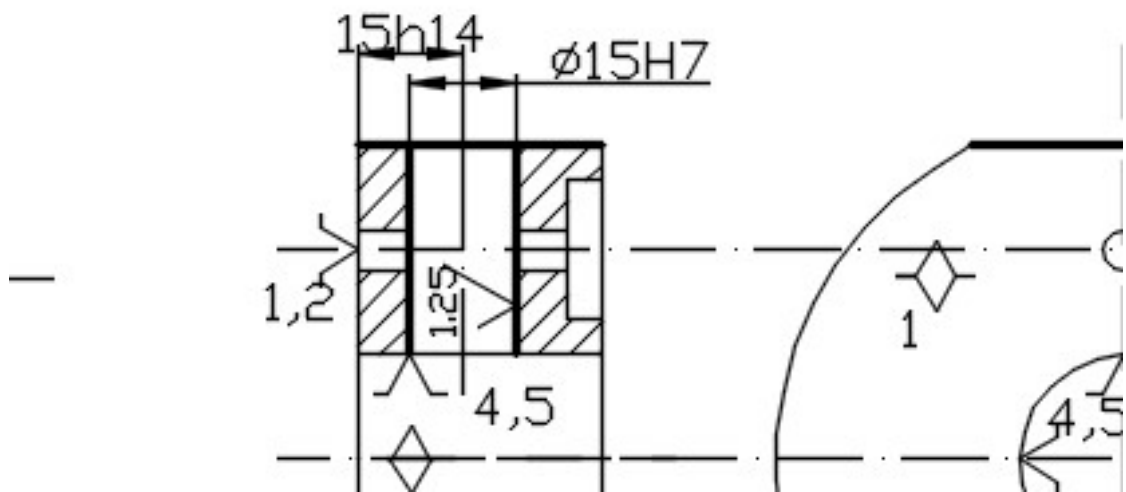


Рис. 13.1. Схема базування деталі



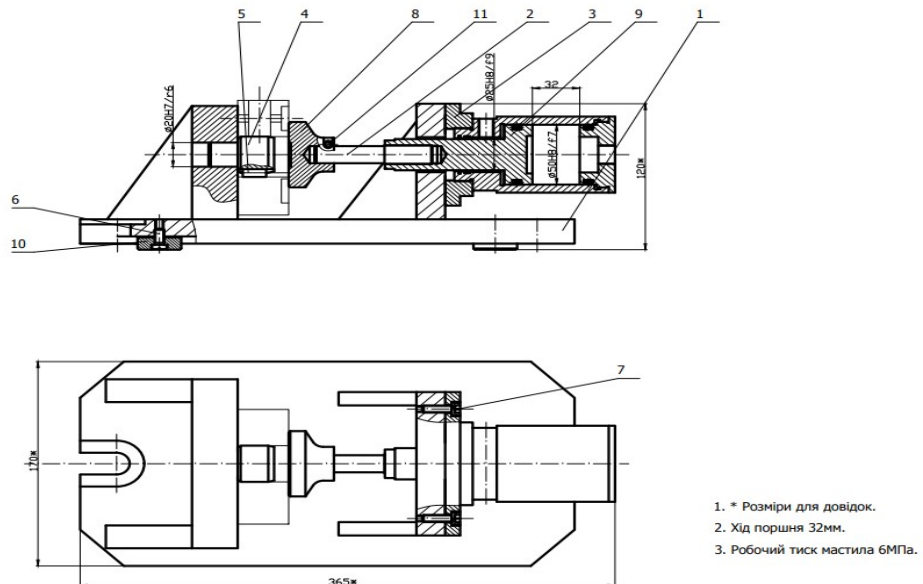


Рис.13.2. Пристосування

Затиск заготовки здійснюємо за допомогою гідроциліндра з вкрученою в його шток тягою та п'ятою.

Корпус пристосування орієнтується на столі верстата за допомогою шпонок, а закріплюється за допомогою гвинтів в пазах столу.

Корпус являє собою плиту, на якій приварені дві стійки, кожна з яких має ребра жорсткості.

На одній стійці встановлено гідроциліндр двосторонньої дії.

У другу стійку запресовано циліндричний палець, з встановленою в ньому шпонкою. Одна з площин стійки шліфована, оскільки використовується в якості установочної бази.

На операції, для якої ми проектуємо пристосування, виконується оброблювання отвору. При фрезеруванні сили різання перевищують сили при обробці отворів.

Сила затиску Ø40мм дорівнює:

$$P_z = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^n \cdot Z}{D^q \cdot n^w} K,$$

$$t=5\text{мм}; \quad S=0.15\text{мм/зуб}; \quad B=35\text{мм}; \quad Z=6; \quad D=40\text{мм}; \quad n=800\text{об/хв};$$

$$K=210/190=1.11; \quad C_p=30; \quad x=0.83; \quad y=0.65; \quad u=1.0; \quad w=0; \quad q=0.83$$

$$P_z = \frac{30 \cdot 5^{0.83} \cdot 0.15^{0.65} \cdot 35^{1.0} \cdot 6}{40^{0.83} \cdot 800^0} 1.11 = 363 \text{ Н.}$$

Складаємо рівняння рівноваги:

$$P_x = Q \cdot f + (Q - P_z) \cdot f$$

$$Q = \frac{P_x + P_z \cdot f}{2f} = \frac{0.25 \cdot 363 + 363 \cdot 0.15}{2 \cdot 0.15} = 484 \text{ Н.}$$

Виберемо в якості силового елемента цього механізму гідроциліндр двосторонньої дії. Затиск заготовки здійснюється при роботі гідроциліндра в штовхаючому режимі.

Штовхаюче зусилля гідроциліндра

$$Q_{\text{ц}} = \frac{3.14 \cdot P \cdot \eta \cdot D^2}{4},$$

де  $P=10\text{МПа}$  – тиск мастила в гідромережі;

$\eta=0,9$  – кпд гідроциліндра.

$D=2d$ .

З урахуванням необхідного коефіцієнта запасу міцності  $k=2,5$ :

$$D = \sqrt{\frac{4kQ}{3.14 \cdot P \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,5 \cdot 484}{3.14 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0,9}} = 17 \text{ мм.}$$

Приймаємо гідроциліндр двосторонньої дії з  $D=40\text{мм}$ ,  $d=22\text{мм}$ .

## 14. Висновки

Метою магістерської дисертації є розширення технологічних можливостей свердильного верстату

Для досягнення поставленої мети в магістерській дисертації були вирішені наступні задачі:

на базі кординатно-свердильного верстата з ЧПК були модернізовані окремі вузли ;

в шпинделі для передньої опори використано радіальний роликовий підшипник з конічним отвором внутрішнього кільця, що дозволяє регулювання натягу за рахунок переміщення внутрішнього кільця по конічній поверхні шпинделя;

в коробці швидкостей замість прямозубих зубчастих коліс застосовані маломодульні колеса з великою кількістю зубів, що дозволило покращити плавність ходу, збільшити коефіцієнт тертя, зменшити шум та втрати на тертя;

в механізмі затиску інструменту замість затиску в цанзі використано механізм затиску з кульками, що дозволило підвищити надійність роботи;

виконано заміну систему ЧПК на сучасну фірми Heidenhain, що дозволило суттєво скоротити час на підготовку програм оброблювання та підвищити якість виготовлених деталей;

виконано аналіз сучасних високопродуктивних інструментів провідних фірм та вибрані з найкращими властивостями по продуктивності та стійкості, що дозволило суттєво покращити якість та продуктивність оброблювання;

виконано аналіз лінійних датчиків та щупів для верстатів з ЧПК фірми Heidenhain та використані для даного верстата, що дозволило підвищити точність позиціювання виконавчих органів верстата;

виконано проектування шпиндельного вузла в SolidWorks та його перевірочний розрахунок;

сконструйовано пристосування для оброблювання типової деталі і та наведено приклад такого оброблювання;

розроблено програму оброблювання типової деталі з використанням програмного забезпечення фірми Heidenhain.

Розрахований ряд вузлів координатно – свердлильного верстата, в тому числі, механізм затиску інструмента, привід повздовжніх подач шпиндельної бабки, шпиндельний вузол.

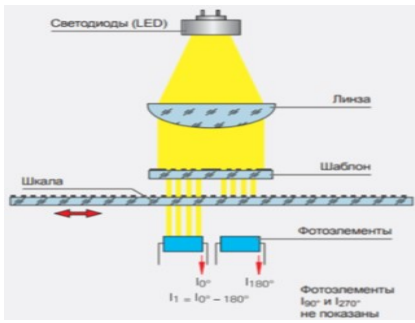
## Література

1. «Общестроительные нормативы времени и режимов резания». - М.: Экономика, 1990.
2. «Детали и механизмы металлорежущих станков», (под ред. Решетова Д. Н./2-х т.-М., машиностроение 1972г .
3. «Станки с ЧПУ» К. Н. Кузнецов / учебное пособие - К., Вища школа
4. «Металлорежущие станки» / под ред. Пуша В.Э. Учебник для ВУЗв - М., Машиностроение., 1985г
5. «Проектирование металлорежущих станков» Г. А.Тарзишанов - М., Машиностроение., 1972г
6. Оснастка для станков с ЧПУ Ю.Н. Кузнецов, Маслов А.Р., Байков А.Н. — Машиностроение 1990г.
7. «Подшипники качения», справочник (под ред. Бейзельман Р. Д. - М. Машиностроение 1975г
9. «Защита от вибрации в машиностроении» Ивович В. А., Онищенко В. Я- М., Машиностроение, 1990г
10. «Справочник технолога» Касилова А. Г., Мещеряков Р. П., Том 2. 1986г.
11. «БОТЕК» системи глибокого свердління, Німеччина [www.botek.de](http://www.botek.de)
12. «TaeguTec» drill rush [www.taegutec.com.ua](http://www.taegutec.com.ua)
13. <https://www.heidenhain.ua/>
14. <https://www.solidworks.com/>

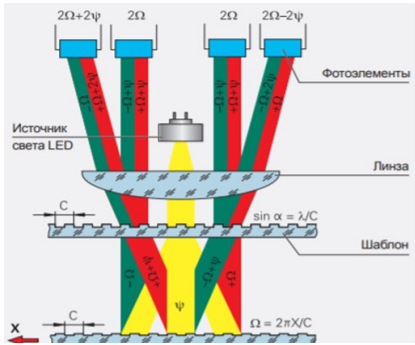
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим.
				<u>Документація</u>		
				Складальне креслення		
				<u>Деталі</u>		
		1		Корпус	1	
		2		Шпилька	1	
		3		Фланець	1	
		4		Палець	1	
		5		Шпонка	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		6		Гвинт 7000-0008	2	
				ГОСТ17773-72		
		7		Гвинт М6х1.6gx20.88	2	
				ГОСТ17738-72		
		8		П'ята 7007-0035	1	
				ГОСТ13437-66		
		9		Циліндр 7021-0143	1	
				ГОСТ 19899-74		
		10		Шпонка 7031-0607	1	
				ГОСТ 14737-69		
		11		Штифт 4×28	1	
				ГОСТ3129-70		

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат						
Разраб.		Колода			<i>Пристосування для фрезерування лиски та обробки отвору</i>			Лит.	Лист	Листов
Проверил		Гриценко							1	1
Реценз.										
Н. Контр.										
Утверд.										

## Щупи і датчики які використовуються для позиціювання виконавчих органів



### Схематичне зображення зчитування методом відображення

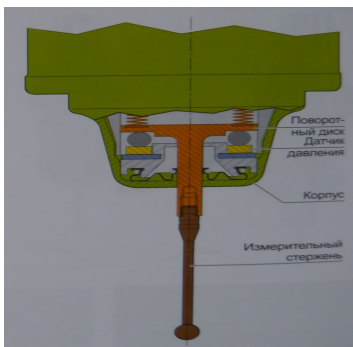


## Оптична схема інтерферентного методу

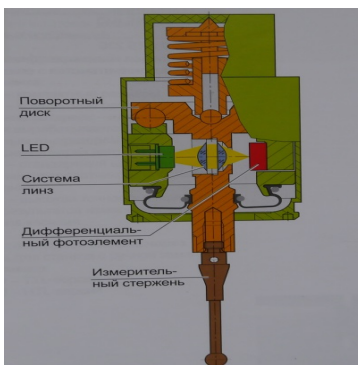


## Датчики лінійних переміщень

закритого типу фірми HEIDENHAIN



## Принципова схема датчика тиску в щупах



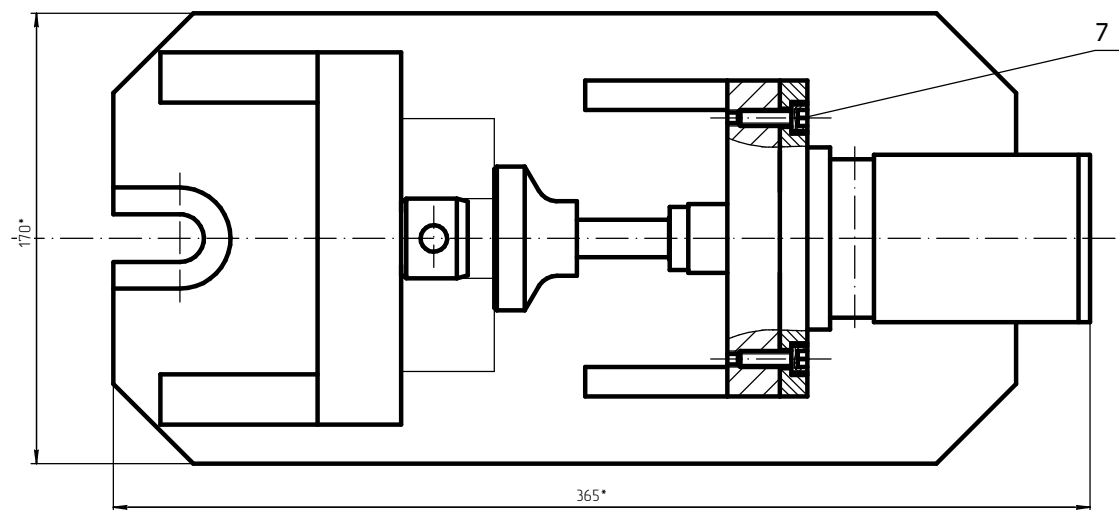
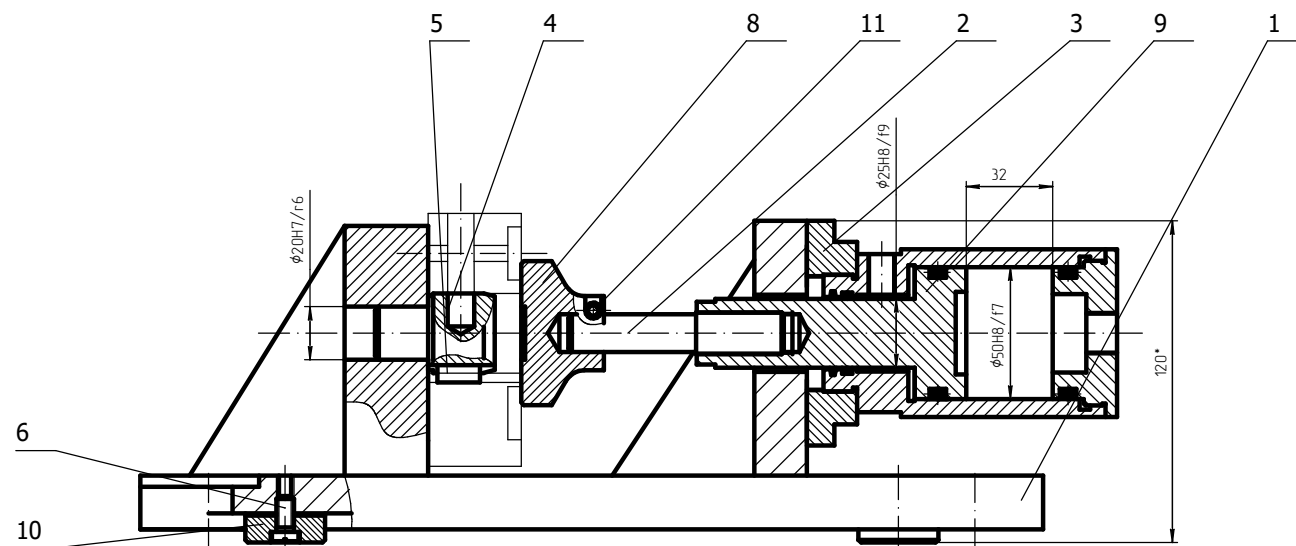
## Принципова схема безконтактного оптичного сенсора

Розробив: \_\_\_\_\_ (Пігур М. Р)

Керівник: \_\_\_\_\_ (Ковальов В. А.)







1. \* Розміри для довідок.
2. Хід поршня 32мм.
3. Робочий тиск мастила 6МПа.

МВ-8109мп.МД.131.0003В									
Пристосування для обробки лиски та отвору									
Вид	Матеріал	Кількість	Вартість	Всього	Вид	Матеріал	Кількість	Вартість	Всього
1	В	1			11	В	1		
Всього					Всього				
Всього					Всього				

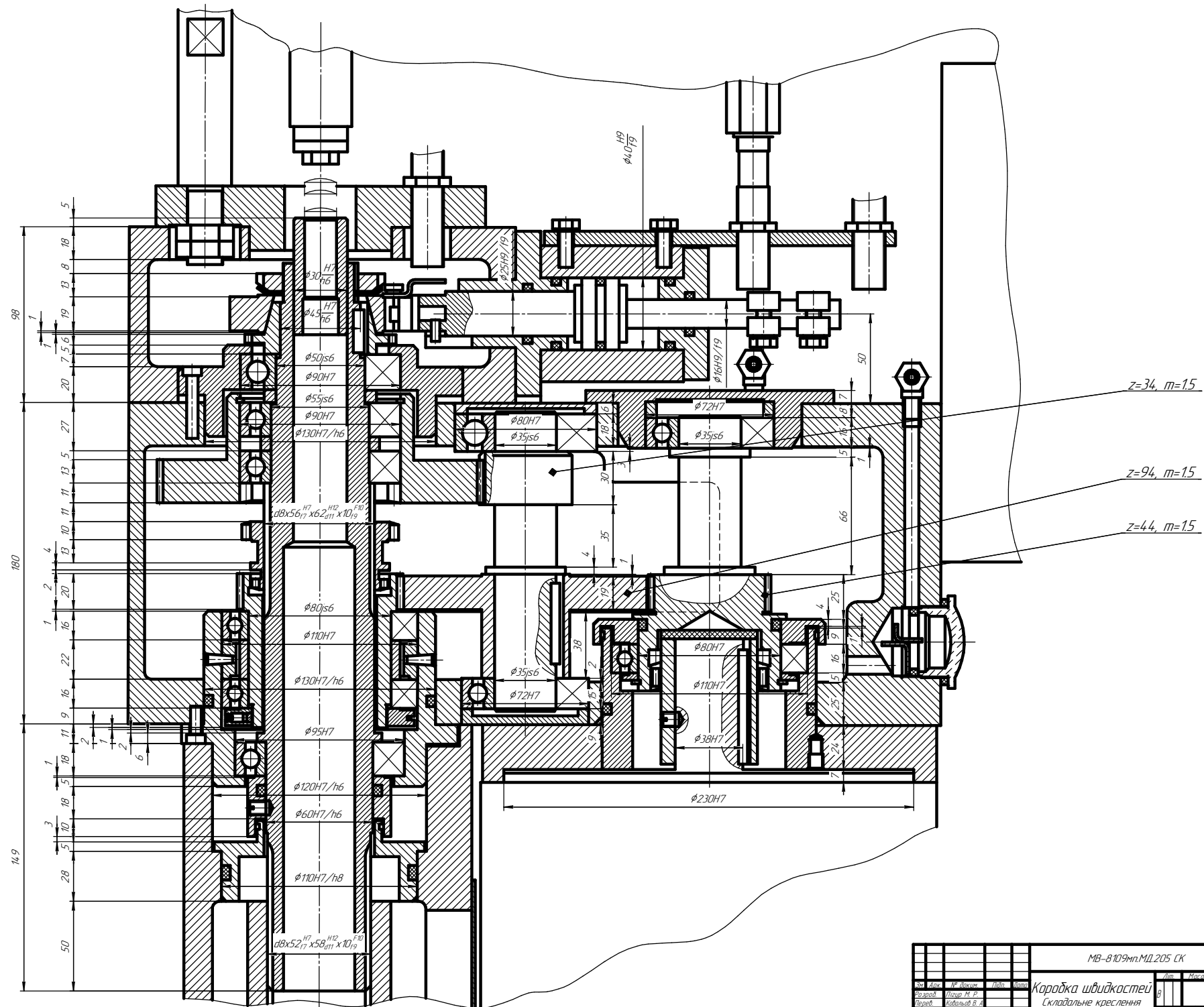


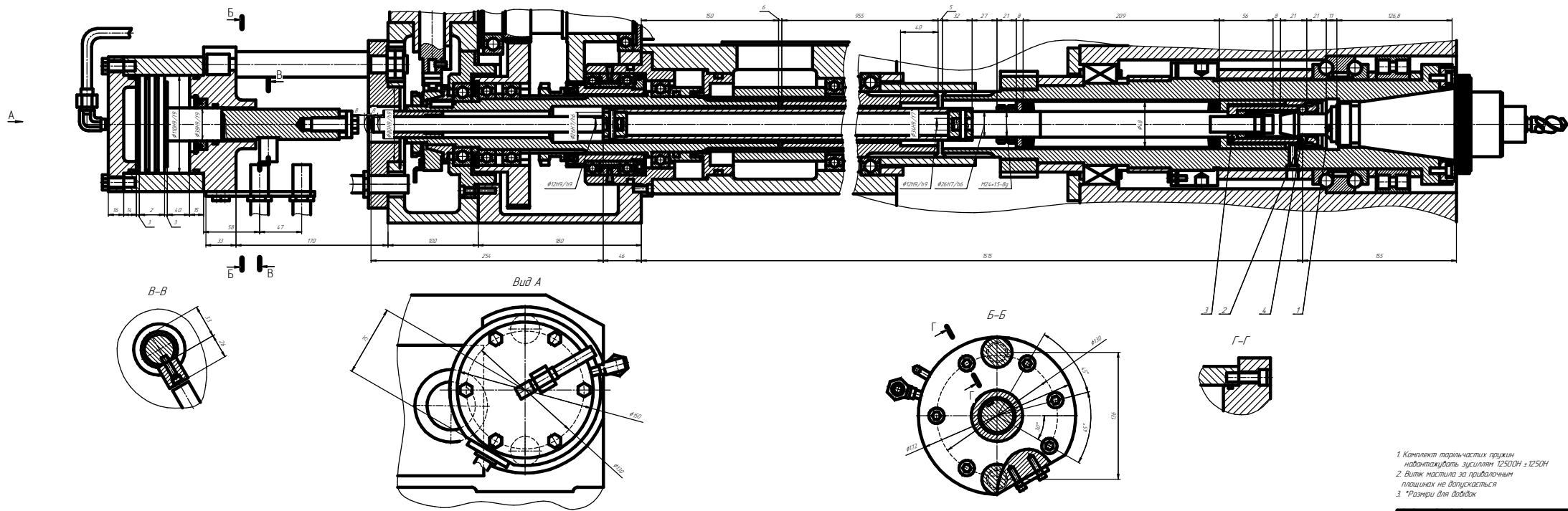
## Додаток А

### Програма обробки деталі «Повідець» в середовищі HeidenHain TNC640

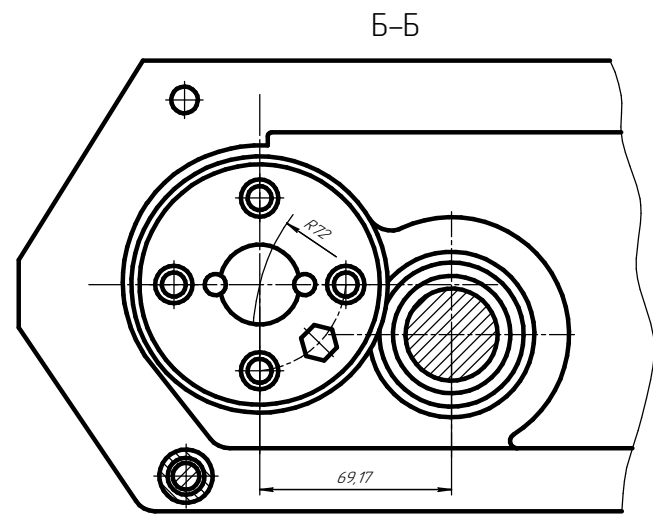
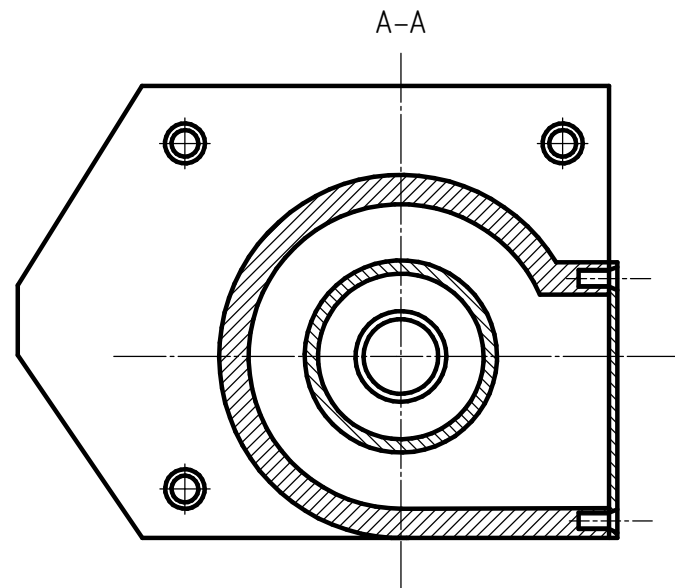
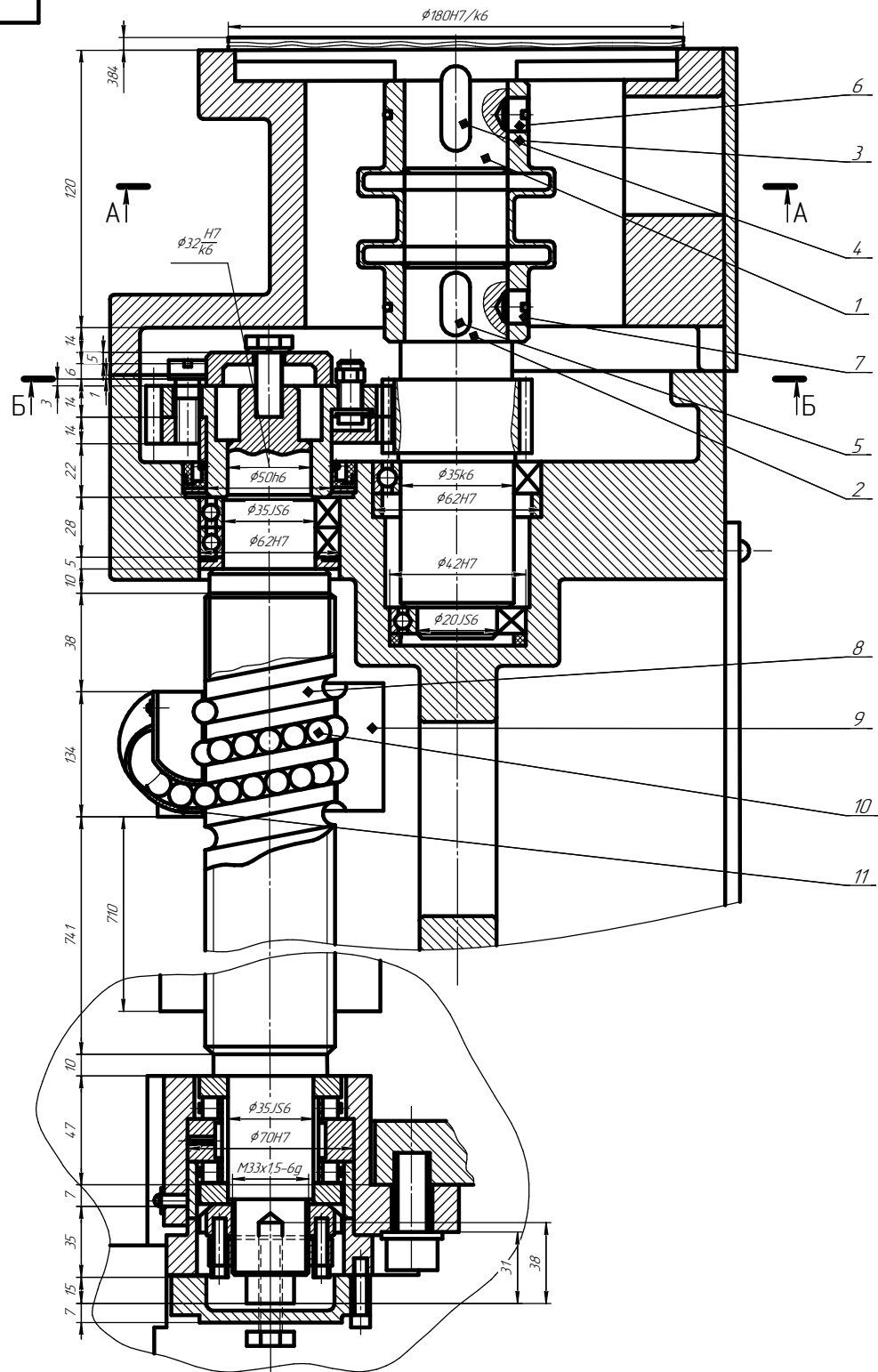
```
0 BEGIN PGM FIGUR MM
1 BLK FORM CYLINDER Y R50 L35
2 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
3 TOOL CALL 20 S1000 F250
4 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3
5 L X-67.5 Y-17.5 R0 FMAX
6 L Z+45 FMAX
7 L X+130 Y-17.5 F AUTO
8 L X+200 Y+0 Z+200 FMAX
9 TOOL CALL 96 Z S1000 F250
10 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
11 L X+0 Y-17.5 R0 FMAX
12 L Z+48 FMAX
13 L Z+3 F AUTO
14 L Z+48 FMAX
15 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
16 TOOL CALL 3 Z S1000 F250
17 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
18 CYCL DEF 252 KRUGOWOJ KARMAN ~
    Q215=+0 ;OBRABOTKA ~
    Q223=+20 ;DIAMETR OKRUSHNOSTI ~
    Q368=+0.5 ;PRIPUSK NA STORONU ~
    Q207=+500 ;PODACHA FREZER. ~
    Q351=+1 ;TIP FREZEROWANIA ~
    Q201=-10 ;GLUBINA ~
    Q202=+5 ;GLUBINA WREZANJA ~
    Q369=+0 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~
    Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
    Q338=+0 ;WREZ. CHISTOW.OBR. ~
    Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
    Q203=+45 ;KOORD. POVERHNOSTI ~
    Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
    Q370=+1 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~
    Q366=+1 ;TIP VREZANIYA ~
    Q385=+500 ;PODACHA CHIST. OBRABOTKI ~
    Q439=+0 ;FEED RATE REFERENCE
19 L X+0 Y-17.5 Z+45 M99
20 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
21 TOOL CALL 265 Z S1000 F250
22 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
23 L X+0 Y-17.5 R0 FMAX
24 L Z+48 FMAX
25 L Z+3 F AUTO
26 L Z+48 FMAX
27 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
28 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
29 END PGM FIGUR MM
```

[illegible]

[illegible]



ИД-810101 ИД-2101-1/1	
Исполн. эскиза	Исполн. эскиза
Скачивание чертежа	Скачивание чертежа
ИД-810101	ИД-810101



1. Підшипники змащувати мастилом  
ЦИАТИМ 201 ГОСТ 6267-74.  
2. \*Розміри для довідок

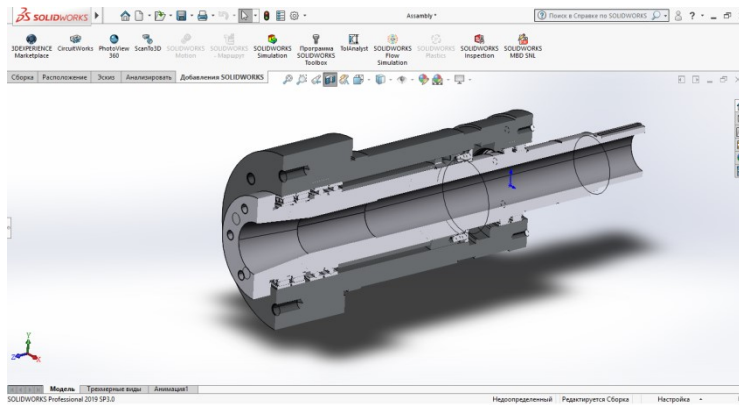
				МВ-8109м.МД.203 СК		
Вид	Матеріал	Масштаб	Масштаб	Лист	Маса	Масштаб
Розроб	Ліній	М. Р.	М. Р.	120	11	
Перев	Коваль	В. А.	В. А.	Відомості		
Г. конст				КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Г. конст				ММІ МВ-81м		



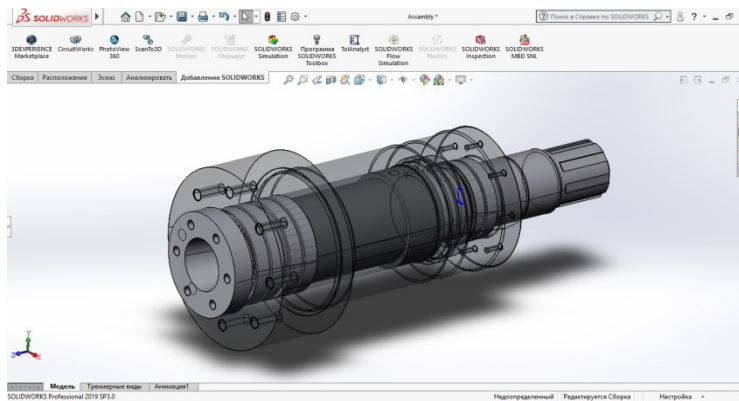
[illegible]

[illegible]

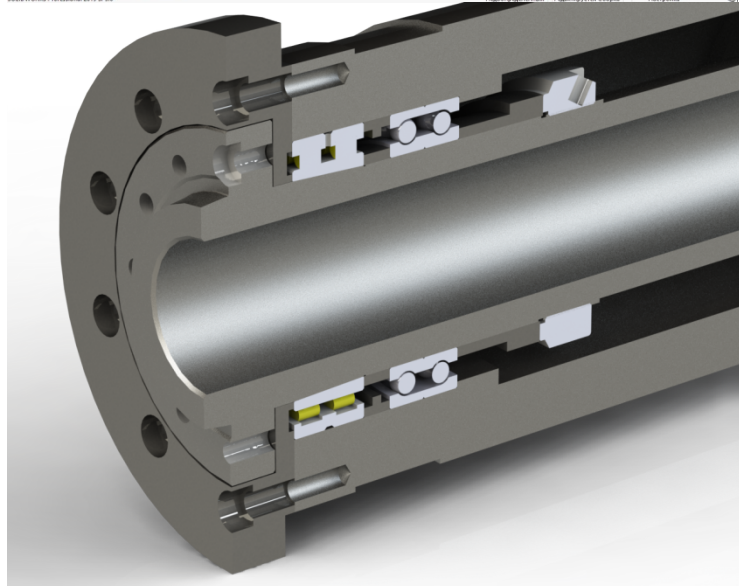
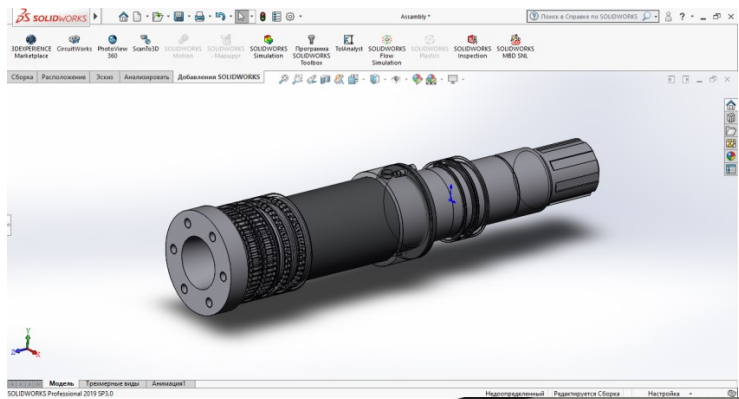
# Проектування шпиндельного вузла в програмі Solidworks



Розріз шпиндельного вузла



Шпиндельний вузол



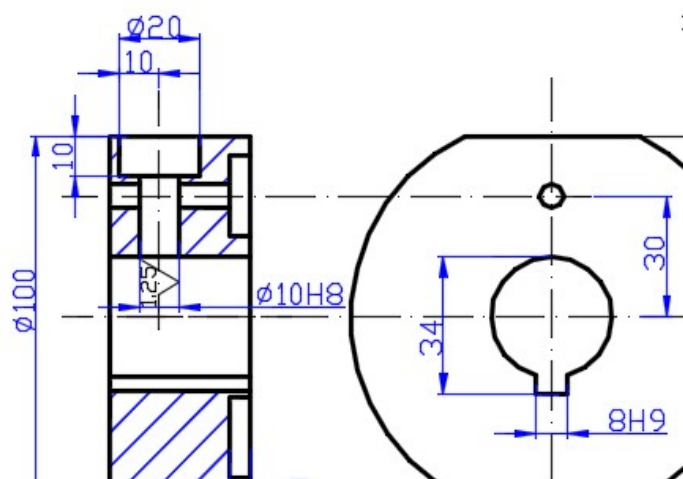
Розріз підшипників

Розробив:\_\_\_\_\_ (Пігур М. Р.)

Керівник:\_\_\_\_\_ (Ковальов В. А.)



## Програма обробки деталі «Повідець» в середовищі HeidenHain TNC640



BEGIN PGM PIGUR MM

```

1 BLK FORM CYLINDER Y R50 L35
2 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
3 TOOL CALL 20 S700 F280
4 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3
5 L X-67.5 Y-17.5 R0 FMAX
6 L Z+45 FMAX
7 L X+130 Y-17.5 F AUTO
8 L X+200 Y+0 Z+200 FMAX
9 TOOL CALL 96 Z S1000 F250
10 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
11 L X+0 Y-17.5 R0 FMAX
12 L Z+48 FMAX
13 L Z+3 F AUTO
14 L Z+48 FMAX
15 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
16 TOOL CALL 3 Z S900 F180
17 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
18 CYCL DEF 252 KRUGOWOJ KARMAN ~
    Q215=+0 ;OBRABOTKA ~
    Q223=+20 ;DIAMETR OKRUSHNOSTI ~
    Q368=+0.5 ;PRIPUSK NA STORONU ~
    Q207=+500 ;PODACHA FREZER. ~
    Q351=+1 ;TIP FREZEROWANIA ~
    Q201=-10 ;GLUBINA ~
    Q202=+5 ;GLUBINA WREZANJA ~
    Q369=+0 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~
    Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
    Q338=+0 ;WREZ. CHISTOW.OBR. ~
    Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
    Q203=+45 ;KOORD. POVERHNNOSTI ~
    Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
    Q370=+1 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~
    Q366=+1 ;TIP VREZANIYA ~
    Q385=+500 ;PODACHA CHIST.
OBRABOTKI ~
    Q439=+0 ;FEED RATE REFERENCE
19 L X+0 Y-17.5 Z+45 M99
20 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
21 TOOL CALL 265 Z S300 F240
22 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
23 L X+0 Y-17.5 R0 FMAX
24 L Z+48 FMAX
25 L Z+3 F AUTO
26 L Z+48 FMAX
27 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
28 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
29 END PGM PIGUR MM

```

## Вибір заготовки

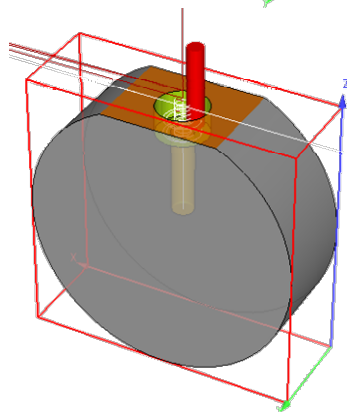
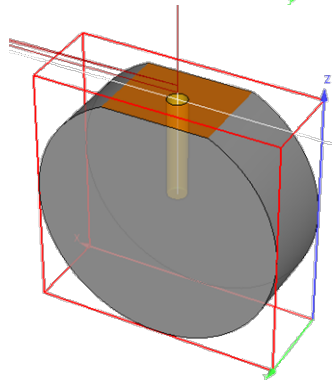
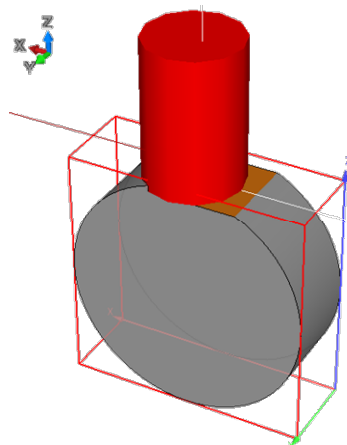
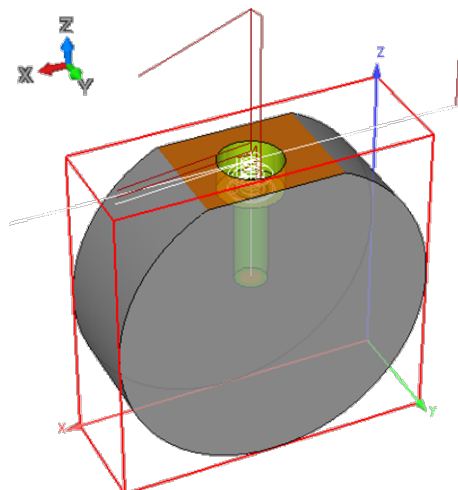
Обработка фрезой  
концевой Ø40мм,  
 $n=700\text{XB}^{-1}$ ,  $s=280\text{мм/XB}$

Обробка свердлом  
спіральним Ø8,8мм,  
 $n=1000\text{хв}^{-1}$ ,  
 $s=250\text{мм/хв}$

Обработка фрезой  
концевой Ø6мм,  
 $n=900\text{XB}^{-1}$ ,  $s=180\text{мм/XB}$

Обработка разверткой  
 $\varnothing 10\text{мм}$ ,  $n=300\text{XB}^{-1}$ ,  
 $s=240\text{мм/XB}$

Висновок: Складена програма обробки деталі «Повідець». Час оброки складає 4,44хв.



Розробив: \_\_\_\_\_ (Пігур М. Р.)  
Керівник: \_\_\_\_\_ (Ковальов В. А.)